407

THÈSE

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1914 — THÈSE — N°

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

INTRODUCTION A UNE ÉTUDE DU COURANT DE CHALEUR

(PRINCIPALEMENT DANS SES CAUSES EXTÉRIEURES)

ET DE LA SENSATION DE TEMPÉRATURE

PAR

Antoine-Georges DESVAUX
Né à Paris, le 11 novembre 1869

Président : M. GILBERT BALLET, *professeur*

PARIS
IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE
JOUVE & Cie, ÉDITEURS
15, Rue Racine (VIe)
—
1914

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

LE DOYEN, M. LANDOUZY

PROFESSEURS

	MM
Anatomie	NICOLAS
Physiologie	Ch. RICHET
Physique médicale	WEISS
Chimie organique et Chimie générale	DESGREZ
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	BLANCHARD
Pathologie et Thérapeutique générales	ACHARD
Pathologie médicale	WIDAL TEISSIER
Pathologie chirurgicale	LEJARS
Anatomie pathologique	Pierre MARIE
Histologie	PRENANT
Opérations et appareils	Auguste BROCA
Pharmacologie et matière médicale	POUCHET
Thérapeutique	MARFAN
Hygiène	CHANTEMESSE
Médecine légale	THOINOT
Histoire de la médecine et de la chirurgie	LETULLE
Pathologie expérimentale et comparée	ROGER DEBOVE
Clinique médicale	LANDOUZY GILBERT CHAUFFARD
Maladies des enfants	HUTINEL
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	Gilbert BALLET
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	GAUCHER
Clinique des maladies du système nerveux	DEJERINE
Clinique chirurgicale	DELBET QUENU RECLUS HARTMANN
Clinique ophtalmologique	De LAPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires	LEGUEU
Clinique d'accouchements	BAR PINARD RIBEMONT-DESSAIGNES
Clinique gynécologique	POZZI
Clinique chirurgicale infantile	KIRMISSON
Clinique thérapeutique	Albert ROBIN

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.

ALGLAVE	GUENIOT	LERI	RICHAUD
BERNARD	GUILLAIN	LOEPER	ROUSSY
BRANCA	JEANNIN	MAILLARD	ROUVIERE
BRUMPT	JOUSSET (A.)	MOCQUOT	SAUVAGE
CAMUS	LABBE (H.)	MULON	SCHWARTZ (A.)
CASTAIGNE	LAIGNEL-LAVASTINE	NICLOUX	SICARD
CHAMPY	LANGLOIS	NOBECOURT	TANON
CHEVASSU	LECENE	OKINCZYC	TERRIEN
COUVELAIRE	LEMIERRE	OMBREDANNE	TIFFENEAU
DESMAREST	LENORMANT	RATHERY	VILLARET
GOUGEROT	LEQUEUX	RETTERER	ZIMMERN
GREGOIRE	LEREBOULLET	RIBIERRE	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'École a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation.

A MA FAMILLE

A Monsieur le Professeur GILBERT BALLET

Professeur de clinique des maladies mentales
à la Faculté de Médecine de l'Université de Paris
Médecin des Hôpitaux
Membre de l'Académie de Médecine
Officier de la Légion d'honneur

INTRODUCTION A UNE ÉTUDE

DU COURANT DE CHALEUR

(PRINCIPALEMENT DANS SES CAUSES EXTÉRIEURES)

ET DE LA SENSATION DE TEMPÉRATURE

INTRODUCTION

On croirait volontiers qu'il suffit de placer un bon thermomètre quelconque en un lieu pour être renseigné sur la température de ce lieu, et pour connaître tous les éléments qui intéressent le médecin à ce point de vue.

Mais les faits viennent bientôt donner un démenti à cette conception trop simple des choses.

Tenons-nous-en d'abord à l'instrument physique, à ses données objectives (1).

1. Historiquement, la température n'a été longtemps qu'une simple sensation, un phénomène subjectif, avant que l'homme se fût avisé de créer un instrument physique pour déceler l'existence de l'énergie calorique.

Le progrès de la Science conduit naturellement à substituer l'objectif au subjectif (H. Poincaré, *Valeur de la Science*, 1909, p. 262 et suiv.)

Toute science est générale et l'objet qu'elle étudie ne peut pas varier en qualité et en quantité selon la personne de l'observateur. Il fallait que le même objet fût chaud pour tout le monde au même instant.

On a remplacé la *sensation de température*, par le thermo-

Prenons deux thermomètres exactement semblables. Ils marquent la même température en un même lieu, au soleil par exemple.

Puis appliquons une couche de noir de fumée sur l'un d'eux. Nous constaterons bientôt que le thermomètre noirci marque 10 degrés de plus que son voisin.

Prenons encore deux thermomètres parfaitement semblables. Plaçons l'un d'eux dans un ballon de verre où nous faisons le vide. Le thermomètre dans le vide marquera bientôt 30 degrés, pendant que l'autre restera à 18 degrés.

Voici un thermomètre que nous plaçons l'hiver en plein vent ; il marque 0 degré par exemple. Mettons-le à l'abri d'un mur ; il marquera encore 0 degré.

Pourtant, nous avons le sentiment qu'il fait beaucoup moins froid derrière le mur qu'en rase campagne.

Évidemment, c'est nous qui nous trompons. Nous sommes le jouet d'une impression toute subjective. Il faut nous incliner devant les indications objectives de l'instrument.

Cependant, varions un peu l'expérience. Chauffons d'une façon constante notre thermomètre. Fournissons-lui toujours le même nombre de calories

---

mètre ; et chacun a consenti à abdiquer son opinion personnelle en présence des indications de l'instrument physique.

Le résultat ainsi obtenu est bon pour le physicien, mais insuffisant pour le médecin.

par seconde (par exemple au moyen d'un appareil électrique bien réglé). A l'abri du mur le thermomètre va maintenant marquer 20 degrés.

Mettons-le en pleins champs. Si le vent est modéré, le même appareil (dans les mêmes conditions de chauffage) ne marquera plus que 10 degrés.

Enfin, si le vent devient plus violent, notre instrument tombe à 0 degré, tout comme le thermomètre non chauffé (1).

Nous avions donc raison de dire qu'il fait plus chaud à l'abri du mur qu'en rase campagne, un jour où le thermomètre marque partout 0 degré.

Les contradictions sont encore plus marquées si nous quittons l'instrument physique, pour consulter les sensations de nos malades. Placés côte à côte dans la même salle, l'un grelotte pendant que l'autre étouffe.

Il semblerait que pour le frileux, la chaleur passe inaperçue, de même que les épices ne sont plus senties par un homme dont le goût est émoussé (2).

---

1. Même résultat (refroidissement intense) si le brouillard s'élève.

2. Autres exemples démontrant la nécessité de préciser ce qui se cache sous le langage usuel :

On dit qu'un pardessus d'hiver est chaud et qu'un rayon de soleil est chaud. En réalité, ils ne sont chauds ni l'un ni l'autre.

Ce ne sont que des occasions pour notre corps d'accumuler de la chaleur, l'un parce qu'il constitue une résistance aux fuites de chaleur, l'autre parce qu'il représente une énergie transformable en chaleur.

Autre exemple encore : quand on sort d'un bain très chaud la meilleure manière d'éviter de se refroidir c'est de recevoir une douche froide (Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 479). Cela

La conclusion de ceci ne doit pas être le scepticisme.

La température est une chose réelle, une donnée à laquelle le médecin ne saurait attacher trop d'importance.

Mais les résultats fournis par les meilleurs instruments ne doivent pas être pris à l'état brut. Rien ne peut dispenser l'opérateur de réfléchir et de distinguer selon les cas.

A côté des faits, la théorie est nécessaire (1).

Nous diviserons ce travail en quatre parties :

Première partie. — Notion d'énergie et de courant d'énergie.

Deuxième partie. — Du courant physiologique de chaleur.

Troisième partie. — Des variations météorologiques qui influencent les variations du courant de chaleur.

Quatrième partie. — Remarques sur nos sensations relatives à l'énergie calorique.

---

semble paradoxal. Pourtant le vrai refroidissement n'est pas l'abaissement de la température de la peau. Le danger menaçant c'est la perte prolongée des calories internes due à ce que la régulation en reste aux dispositions (hyperhémie cutanée) qu'elle avait adoptées pour le bain chaud. Il ne s'agit plus d'un corps inerte. Il existe un système nerveux qu'on peut rappeler à la réalité par un avertissement brutal.

1. Si l'on ne peut espérer trouver des vérifications numériques des lois de la physique au milieu des phénomènes si complexes de l'organisme, on peut espérer montrer que les phénomènes ne sont pas incompatibles avec les principes qui régissent les phénomènes inorganiques. André Broca, *les Transformations d'énergie dans l'organisme* (*Congrès de Physique de Paris*, 1900, vol. III, p. 495).

PREMIÈRE PARTIE

DE LA NOTION D'ÉNERGIE

ET DE COURANT D'ÉNERGIE

SOMMAIRE

CHAPITRE PREMIER. — Représentations diverses de l'énergie calorique, p. 13.

CHAPITRE II. — Comparaison de l'énergie en général (et de l'énergie calorique en particulier) avec un volume d'eau immobile, p. 18.

CHAPITRE III. — Première notion d'une transformation externe d'énergie (Rôle de l'Extensité dans cette transformation), p. 32.

CHAPITRE IV. — Généralisation de la notion de transformation d'énergie, p. 42.

CHAPITRE V. — Compléments à la Représentation de l'Energie, p. 45.

CHAPITRE VI. — De l'équivalence dans la transformation externe d'Energie, p. 53.

CHAPITRE VII. — Des deux principes de la Thermodynamique (conservation de l'Energie, dégradation de l'Energie), p. 55.

CHAPITRE VIII. — Rôle de l'espace dans la répartition de l'Energie, p. 63.

CHAPITRE IX. — Rôle du temps dans les transformations d'énergie, p. 65.

CHAPITRE X. — Du changement et du courant, p. 72.

CHAPITRE XI. — Du flux et du courant, p. 75.

CHAPITRE XII. — Forme *cinétique* de l'énergie, p. 77.

CHAPITRE XIII. — De l'efficacité de l'énergie et de ses conditions (Effets locaux. Effets généraux), p. 89.

Chapitre XIV. — Des différents modes de transport de l'énergie (t. vibratoire, t. par convection), p. 94.

Chapitre XV. — Courant de régime et courant varié, p. 120.

Chapitre XVI. — Superposition de deux mouvements oscillatoires, p. 131.

CHAPITRE PREMIER

REPRÉSENTATIONS DIVERSES DE L'ÉNERGIE CALORIQUE

Qu'est-ce que la température (1) ? C'est une qualité qui manifeste la présence de la chaleur.

Et la chaleur elle-même qu'est-ce donc ?

M. Pellat dans son cours de thermodynamique, professé à la Sorbonne, définit ainsi la chaleur : « La chaleur c'est ce qui est *en plus* dans un corps qui est devenu plus chaud (2). »

Les contemporains de Lavoisier voyaient dans la chaleur un fluide spécial qui se répandait dans les corps en plus ou moins grande quantité et les rendait plus ou moins chauds. C'était le *calorique*.

---

1. Le mot température peut être pris dans plusieurs acceptions.

Premier sens. — La température peut être envisagée au point de vue météorologique, dans un sens large. Le vent, le soleil, l'humidité, l'électricité sont alors, au même titre que le chaud et le froid, des éléments de la température pour telle journée.

Le terme « température moyenne » devient souvent synonyme de « climat » d'une contrée.

Deuxième sens. — On peut parler de la température d'un corps en particulier. Ce corps sera plus ou moins chaud ou froid.

Troisième sens. — Encore plus spécial et précis. Le mot température représente un seul des deux facteurs de l'énergie calorique. Il signifie seulement le *niveau* de cette énergie. Nous développerons plus loin ce point de vue.

2. Pellat, *Thermodynamique*. Paris, Carré, 1897, p. 9.

Dans le mémoire de Carnot publié en 1824, nous trouvons encore des phrases comme celles-ci (1) : « Le calorique, développé dans le foyer par l'effet de la combustion traverse les parois de la chaudière, vient donner naissance à de la vapeur, s'y incorpore en quelque sorte (p. 9). »

Au XIXe siècle la chaleur fut considérée comme une vibration de la matière, un cas particulier de la mécanique (2 et 3).

De nos jours, la thermodynamique (s'appuyant sur le principe de la « conservation de l'énergie » et sur celui de la « dégradation de l'énergie » peut former « tout un corps de doctrine, indépendant des divers systèmes d'explications mécaniques ; cette

---

1. Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu*. Réimpression, Paris, Hermann, 1903, p. 9 et 25.

Consulter également le livre de M. le professeur Weiss *sur la Physiologie générale du Travail musculaire et de la chaleur animale*. Paris, Masson, 1909, p. 9, le Phlogiston.

2. Voir par exemple John Tyndall, *la Chaleur mode de mouvement*. Traduction par l'abbé Moigno. Paris, Gauthier-Villars, 1874.

Certes, le mouvement est le plus clair des symboles du changement. Mais il est excessif de dire que tout changement soit un mouvement.

3. Pour éviter toute confusion il faut d'abord distinguer soigneusement de la chaleur tout ce qui n'est pas énergie calorique. Voir Chwolson. Traduction *Physique*, t. II, 1er fascicule, 1re édition, p. 28.

Ainsi l'énergie rayonnante (qui donne lieu à des manifestations lumineuses, caloriques, chimiques, électriques) *n'est pas de la chaleur*.

Le mot « chaleur rayonnante » doit être abandonné.

La chaleur c'est simplement l'énergie des mouvements moléculaires *de la matière*.

L'énergie des mouvements *de l'éther* n'est à aucun titre de la chaleur.

doctrine n'a pas l'ambition de réduire à la figure, au mouvement, à la masse et à la force tous les phénomènes qu'elle analyse ; mais en bornant ses prétentions, elle assure à ses déductions une grande sécurité » (1).

Dans cette manière de voir, la chaleur n'est plus qu'un ensemble de formules mathématiques propres à prévoir les phénomènes.

Pour les besoins du présent travail, une autre conception de la chaleur semble indiquée.

Sans prétendre rien préjuger de l'essence de la chaleur, nous choisirons quelque représentation concrète qui permette à l'esprit de suivre les phénomènes sans fatigue (2).

Nous nous mettrons d'accord avec le langage usuel qui emploie volontiers les expressions « d'écoulement ou d'accumulation d'un fluide impondérable » lorsqu'il s'agit d'électricité ou de chaleur.

On a beaucoup critiqué cette manière de parler. Pourtant elle correspond bien à certaines attitudes de l'esprit qui sont une des conditions de la clarté.

« L'esprit humain, c'est encore une constatation psychologique, paraît incapable de s'en tenir, lorsqu'il s'agit de connaissance ou de science à quelque chose

---

1. Duhem, *l'Évolution de la mécanique*, p. 111. Paris, Hermann, 1905.

2. A un certain point de vue, les questions de méthodes scientifiques, de procédés d'exposition, de systèmes plus ou moins clairs, plus ou moins pénibles à suivre rentrent dans l'hygiène mentale, et sont de la compétence du médecin.

Voir Mach, *Mécanique*. Traduction. Paris, Hermann. Passages sur *l'Economie de pensée*.

qui ne se représente pas. Aussi essaye-t-il de se représenter ce qu'il met sous ses formules. Lorsque les termes de ces formules n'ont pas un sens concret, il leur en donne peu à peu inconsciemment un (1). »

Acceptons ouvertement cette obligation et considérons provisoirement le calorique comme une matière fictive.

Il ne subsistera aucune confusion quand nous aurons défini cette matière fictive : « le substratum intellectuel, le centre nécessaire à l'esprit pour qu'il puisse attribuer à cette chose des qualités et de l'énergie. »

Pour rendre saisissable les modifications des prétendus fluides impondérables, il est d'usage de comparer ceux-ci à l'eau.

Mais une seule comparaison avec l'eau ne serait pas exacte jusqu'au bout et ferait naître des confusions.

Nous ferons d'abord cette comparaison avec le *volume* de l'eau à un point de vue de pure forme (point de vue géométrique) qui nous permettra de nous représenter l'énergie calorique comme un produit de deux facteurs. Conception essentielle sans laquelle on ne peut pas comprendre les effets de la chaleur.

Ensuite, nous considérerons l'eau comme un véhicule d'énergie mécanique. Le *volume* de l'eau, ou

---

1. Abel Rey, *l'Énergétique et le mécanisme au point de vue des conditions de la connaissance*. Paris, Alcan, 1908, p. 93-121.

pour mieux dire sa *masse*, figurera l'un de nos facteurs d'énergie, — l'autre facteur étant la *hauteur* à laquelle est située la masse d'eau, ou bien la *vitesse* de l'eau en mouvement.

Ces comparaisons nous permettront de faire à propos de la chaleur bien des distinctions qui nous échapperaient sans ce fil conducteur, et qui sont nécessaires à qui veut prévoir les phénomènes et les diriger.

CHAPITRE II

COMPARAISON DE L'ÉNERGIE EN GÉNÉRAL

ET DE L'ÉNERGIE CALORIQUE EN PARTICULIER AVEC UN VOLUME D'EAU IMMOBILE

SOMMAIRE

Première section. — Image des deux facteurs de l'énergie. — 1. Influence de la variation du facteur intensivité (le facteur extensité restant invariable), p. 19. — § 2. Influence de la variation du facteur extensité (le facteur intensivité restant invariable), p. 20.
Section II. — Notion de transformation interne, p. 21.
Section III. — Des véhicules de l'énergie calorique, p. 25.
Section IV. — Chaleur spécifique, p. 25.
Section V. — Quantité de chaleur. — Calories, p. 28.
Section VI. — Quantité totale de chaleur contenue dans un corps (notion du zéro absolu), p. 30.

PREMIÈRE SECTION

Image des deux facteurs de l'énergie

La chaleur est une énergie (1). Toute énergie peut être considérée comme le produit de deux facteurs (2).

---

1. Une énergie, c'est une cause de changement dans le monde, par exemple une cause de mouvement.

2. Voir Ostwald, *l'Énergie*. Paris, Alcan, p. 111, 139 et 152.

1° D'un facteur *intensivité* (comme le potentiel électrique, la température, la hauteur verticale) ;

2° D'un facteur *extensité* (la masse par exemple pour l'énergie de pesanteur).

Pour nous faire une idée nette de ces deux éléments, comparons l'énergie totale à un volume d'eau. Le facteur intensivité sera représenté par la hauteur d'eau, le niveau de l'eau dans le réservoir.

Le facteur extensité sera représenté par la surface horizontale, la base du réservoir.

Soit un vase rectangulaire contenant de l'eau. La hauteur A B de l'eau figure l'intensivité de l'énergie calorique, c'est-à-dire la température en degrés thermométriques.

FIG. 1. — Extensité

La surface horizontale B C est l'extensité (1).

Le produit de l'intensivité par l'extensité (de la hauteur d'eau multipliée par la surface horizontale du réservoir) donne le volume de l'eau contenue dans le réservoir. Ce volume est l'image de notre énergie calorique.

Énergie calorique = température × extensité.

§ 1. — *Influence de la variation du facteur intensivité (le facteur extensité restant invariable)*

Exemple. — Supposons que notre réservoir ait un décimètre carré de surface horizontale (fig. 2). Supposons que

1. Nous verrons plus loin que ce qu'on nomme l'entropie est une grandeur de cette nature.

FIG. 2

chacun des degrés de notre échelle de hauteur d'eau ait un décimètre de hauteur.

Au niveau de 1 degré nous aurons, volume : 1 litre d'eau.

Au niveau de 2 degrés nous aurons, volume : 2 litres d'eau.

Au niveau de 3 degrés nous aurons, volume : 3 litres d'eau.

De même, un certain réservoir électrique pourra contenir (avec une extensité de un Coulomb).

Intensivité (1)	Provision totale d'énergie
Au niveau de 1 volt.	Une quantité d'énergie de 1 volt-coulomb.
— 2 volts.	— de 2 volts-coulombs.
— 3 volts.	— de 3 volts-coulombs.

De même encore, un certain corps chaud contiendra :

Intensivité	Provision totale d'énergie
Au niveau de 1 degré thermométrique.	Une quantité d'énergie de 1 calorie.
— de 2 degrés	— de 2 calories.
— de 3 degrés	— de 3 calories.

§ 2. — *Influence de la variation du facteur extensité (le facteur intensivité restant invariable)*

Si, dans un réservoir, on maintient le niveau d'eau cons-

1. Nous disons *intensivité* (c'est-à-dire niveau) pour éviter une confusion avec le mot *intensité*, qui, en électricité, représente au contraire une extensité (amperage).

tant à 1 mètre, et si l'on fait varier la base horizontale du réservoir.

Avec une base de 1 mètre carré le volume sera 1 mètre cube
— 2 mètres carrés — 2 mètres cubes
— 3 mètres carrés — 3 mètres cubes

Dans le réservoir électrique (avec une intensivité constante de 1 volt) on a :

Extensité	Provision totale d'énergie
Avec extensité de 1 coulomb.	Une quantité d'énergie de 1 volt-coulomb.
— de 2 coulombs.	— de 2 volts-coulombs.
— de 3 coulombs.	— de 3 volts-coulombs.

Un corps chaud contiendra (à la température constante de 1 degré) :

Extensité	Provision totale d'énergie
Avec extensité de 1 unité.	Une quantité d'énergie de 1 calorie.
— de 2 unités.	— de 2 calories.
— de 3 unités.	— de 3 calories.

SECTION II

Notion de transformation interne

Une *transformation interne* est celle au cours de laquelle l'énergie ne change pas de nom (1).

1. Dans une *transformation externe*, au contraire, l'énergie

Dans ce cas, il semble que le facteur intensivité se transforme partiellement en facteur extensité ou inversement, de telle sorte que la quantité totale d'énergie ne varie pas.

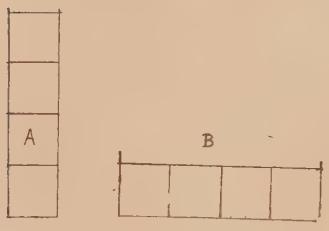


FIG. 3

Reprenons notre comparaison. Le volume de l'eau est égal au produit de la base par la hauteur.

Ce produit restera le même si l'on fait varier les deux facteurs en sens inverse proportionnellement.

Hauteur 4 × surface 1 = volume 4
Hauteur 1 × surface 4 = volume 4

Que nos 4 litres d'eau soient empilés verticalement ou disposés horizontalement côte à côte, il y aura toujours un volume de 4 litres d'eau (v. fig. 3).

De même :

4 volts × 1 coulomb = énergie 4 volts-coulombs
1 volt × 4 coulombs = énergie 4 volts-coulombs

De même encore :

4 degrés centigrades × extensité 1 = 4 calories
1 degré centigrade × extensité 4 = 4 calories

Première remarque

Les deux combinaisons précédentes donnent la même énergie totale.

---

change de nom; par exemple, l'énergie mécanique se change en énergie calorique ou inversement, l'énergie électrique se change en énergie rayonnée, etc.

L'intérêt qu'il y a à choisir une combinaison plutôt que l'autre apparaît quand on veut faire usage de cette énergie.

Certaines applications exigent la présence de la forme à haute intensivité.

« Il suffit bien pour faire cuire un œuf, de le maintenir trois minutes dans l'eau bouillante ; mais il faut de l'eau bouillante. Et d'innombrables calories prises à une source à 45 degrés, ne sauraient suppléer quelques calories en très petit nombre prises à 100 degrés. » (1)

D'autres usages réclament plutôt la combinaison à large extensité. Pour chauffer un appartement il est de beaucoup préférable d'avoir une bouche de calorifère qui fournisse 1.000 calories à la température de 20 degrés — plutôt qu'un arc électrique fournissant le même nombre de calories à la température de 3.000 degrés. Dans ce dernier cas, la chaleur restera localisée aux environs immédiats de la lampe électrique et, — à 2 mètres d'elle, on se sentira glacé.

La chaleur du calorifère sera beaucoup mieux répartie.

Deuxième remarque

Notre première comparaison (avec le volume de l'eau) nous permet de nous figurer certains phénomènes dans lesquels l'énergie calorique se modifie.

Nous concevons ainsi la possibilité de transformer l'extensité en intensivité ou réciproquement.

---

1. Brunhes, *la Dégradation de l'énergie*, p. 72. Paris, Flammarion, 1909.

Nous avons un certain volume d'eau dans un vase bas et large B (fig. 4). Nous transvidons cette eau dans un vase étroit et haut A. Après cette opération nous avons encore le même nombre de litres d'eau, la même quantité d'énergie.

Seulement les unités d'extensité sont devenues des unités d'intensivité. Au début nous avions 4 litres d'eau rangés côte à côte sur une ligne horizontale. Ils sont maintenant empilés verticalement.

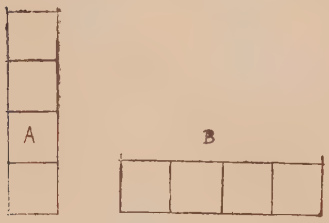


FIG. 4

Nous verrons ailleurs ce que coûte cette modification effectuée dans la valeur relative des deux facteurs de l'énergie totale.

De même nous avons une certaine quantité d'énergie calorique, de calories. Nous pouvons nous figurer que nous les transvasons dans un réservoir fictif étroit et haut. Nous pourrions ainsi transformer les unités d'extensité calorique en degrés de température (sans modifier le nombre de nos calories).

Par exemple, nous couvrions une surface de 1 mètre carré à la température de 10 degrés centigrades. Nous concentrons maintenant cette énergie sur une surface dix fois moindre et la température est portée à 100 degrés (1).

---

1. Ce qui se passe ordinairement dans la nature, c'est le phénomène inverse du précédent.

L'énergie à haute intensivité, formée de volumes d'énergie empilés verticalement les uns sur les autres, s'écroule, se répand dans des réservoirs de large surface, dans lesquels elle n'a plus qu'une faible hauteur. L'intensivité s'est changée en extensité. C'est ce qu'on appelle la dégradation de l'énergie (Brunhes, *la Dégradation de l'énergie*. Paris, Flammarion, 1909).

SECTION III

Des véhicules de l'énergie calorique

L'énergie calorique se trouve contenue dans des véhicules comme l'air, le bois, le fer, l'eau.

Pour un même véhicule, par exemple, le cuivre, l'extensité de l'énergie calorique dépend de la quantité de cuivre utilisée.

Introduisons 100 calories dans 1 kilogramme de cuivre (supposé vide de toute chaleur), — notre énergie calorique aura une extensité moitié moindre que celle qu'elle prendrait dans un bloc de cuivre pesant 2 kilogrammes.

Dans un véhicule cuivre de masse double, l'extensité calorique est doublée et l'intensivité diminuée de moitié (dégradation d'énergie).

SECTION IV

Chaleur spécifique

Comparons maintenant une sorte de véhicule calorique à une autre, par exemple comparons à ce point de vue l'eau au fer.

Une masse de 1 kilogramme d'eau entraîne une plus grande extensité calorique qu'une masse de 1 kilogramme de fer (1).

Inversement, avec le fer on obtiendra des intensivités beaucoup plus grandes qu'avec l'eau, pour une même quantité de calories introduites dans une masse de 1 kilogramme du corps.

---

1. Lami, *Dictionnaire de l'Industrie*, mot « Chaleur », p. 495.

Pour porter de 0 à 100 degrés la température de 1 kilogramme d'eau, il faut 100 calories. Cette quantité de chaleur, appliquée à 1 kilogramme de fer, en élèverait la température de 0 à près de 1.000 degrés (1).

La chaleur spécifique d'un corps, c'est la quantité d'énergie totale, le travail calorique, le nombre de calories nécessaires pour élever de 1 degré, la température de l'unité de masse de ce corps.

Pour 1 kilogramme d'eau, cette quantité est de 1 grande calorie par définition.

Dans notre comparaison la chaleur spécifique est représentée, comme l'extensité, par la surface horizontale du réservoir.

Une certaine matière est représentée par le réservoir A qui a 1 décimètre carré de surface de base. Il suffira d'y verser 1 litre d'eau pour que le niveau affleure à la division = 1 décimètre de haut ; il suffira d'y verser une calorie pour que le thermomètre marque 1 degré centigrade.

Une autre matière est figurée par le réservoir B dont la base est 10 décimètres carrés. Si nous y versons également 1 litre d'eau, la hauteur obtenue sera seulement de 1 centimètre (sera de 1/10 de degré). Ce seraient 10 litres d'eau qu'il faudrait mettre, 10 calories qu'il faudrait fournir pour atteindre à la même intensivité que tout à l'heure.

---

1. Comme le dit Ostwald (*l'Energie*, p. 17), un corps est un agrégat d'un grand nombre d'énergies : énergie de pesanteur, énergie chimique, calorique, électrique, etc.

Il est fort possible que ce corps ait une extensité différente pour chaque espèce d'énergie. Ce n'est nullement parce que deux corps ont la même masse mécanique, c'est-à-dire la même extensité pour l'énergie de pesanteur, qu'ils doivent avoir la même chaleur spécifique, c'est-à-dire la même extensité pour l'énergie calorique.

Première conséquence. — Il en résulte que, pour les corps qui ont une très grande chaleur spécifique (grande extensité calorique), il faut mettre dans ce réservoir beaucoup de calories (beaucoup de litres d'eau), avant de faire monter quelque peu le niveau d'eau, c'est-à-dire la température.

Deux ou trois litres d'eau jetés au fond d'un réservoir (à fond bien horizontal) d'une surface de 500 mètres carrés, ne donnent pas une hauteur d'eau appréciable.

Deuxième conséquence. — Nous venons de voir qu'un corps à grande chaleur spécifique (grande extensité calorique) s'échauffe lentement.

Mais, comme contre-partie, il se refroidit aussi très lentement.

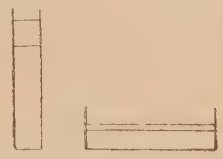


FIG. 5

Il pourra céder beaucoup de calories sans se refroidir sensiblement.

Prenez un réservoir A de 1 décimètre carré de surface. Chaque fois que vous retirerez 1 litre d'eau, le niveau baissera de 1 décimètre de hauteur.

Prenez maintenant un réservoir B de 100 décimètres carrés de surface horizontale (1 mètre carré). Enlevez 1 litre d'eau. Le niveau baissera seulement de 1 millimètre de hauteur (c'est-à-dire cent fois moins que dans le cas précédent, fig. 5).

A *volume* égal, l'air a une chaleur spécifique 3080 fois plus petite que celle de l'eau (1). Pour se chauffer, il est donc préférable d'avoir à sa disposition : 1 mètre cube d'eau à 20 degrés, plutôt qu'un mètre cube d'air à 20 degrés. La première source est un immense réservoir qui peut nous

1. Lami, *Dictionnaire de l'Industrie*, 1882, mot Chaleur, p. 495.

fournir trois mille fois plus de calories que l'air (pour un égal abaissement de sa température).

En baissant de 1 degré centigrade, 1 mètre cube d'eau met à notre disposition 1000 calories.

Dans les mêmes conditions 1 mètre cube d'air nous fournirait $\frac{1000}{3080}$ calories = environ $\frac{1}{3}$ de calorie (1).

Selon M. le professeur Ch. Richet (2), « on peut admettre que la chaleur spécifique, pour le corps des animaux, est voisine de 0,8 ». Elle est donc grande. Les animaux s'échauffent lentement et se refroidissent de même. Et ceci en vertu des seules lois physiques, indépendamment de la régulation nerveuse que nous étudierons plus loin.

SECTION V

Quantité de chaleur. — Calories

Le produit « hauteur d'eau multipliée par la surface horizontale du réservoir » donne le volume de l'eau.

Ce volume d'eau peut figurer, en un certain sens, la quantité d'énergie calorique, — cette quantité étant le produit de l'intensivité (degré thermométrique de température) multipliée par l'extensité.

On évalue la quantité de chaleur en calories (3) comme on évalue un cube d'eau en litres.

---

1. Si nous comparons maintenant les *masses* et non plus les *volumes*, nous remarquerons que l'eau bouillante contient, à poids égal, plus de chaleur que le fer porté au rouge, quoique la température de celui-ci soit beaucoup plus élevée (Lami, *Dictionnaire de l'Industrie*, mot Chaleur, p. 495).

2. *Dictionnaire de Physiologie* de Richet, mot Chaleur, p. 154.

3. La grande calorie est la quantité d'énergie calorique qui est

Mais cette comparaison entre le volume d'eau et une quantité d'énergie n'est vraie qu'à un certain point de vue de pure forme.

En réalité, « la quantité de chaleur est une grandeur d'énergie et la quantité d'eau n'en est pas une » (1 et 2).

Pour être exact, il faudrait représenter l'extensité de l'énergie par la quantité (*la masse*) d'eau — et l'intensivité par la *hauteur* du réservoir au-dessus du sol, ou bien par la vitesse de l eau.

Une quantité d'eau immobile et placée en dehors de tout champ de pesanteur ne constituerait pas une énergie, serait inefficace.

Ce que Carnot comparait à une *quantité d'eau*, ce n'était pas une *quantité de chaleur*, — mais une quantité de calorique (3).

Le calorique était pour lui une sorte de matière, et l'éner-

---

nécessaire pour élever de un degré la température de un kilogramme d'eau distillée. C'est la calorie kilogramme.

La petite calorie est mille fois plus petite. C'est la calorie gramme.

1. Voir Ostwald, *l'Énergie*. Paris, Alcan, 1910, p. 102.

2. Il est vrai que M. Duhem (*Thermodynamique et Chimie*. Paris, Hermann, 1910, p. 42.) écrit : « La chaleur n'est pas une forme de l'énergie... », « ce qu'il y a d'erroné dans cette proposition qui, pour l'ancienne physique était une hypothèse essentielle : « La quantité de chaleur que contient un corps pris dans un état donné. » Autant vaudrait parler, disait J. Bertrand, de la quantité de son que contient un diapason ».

3. Carnot, *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, édition 1903. Paris, Hermann, p. 28.

On peut remarquer que si la *quantité de chaleur* diminue, s'use en se transformant en énergie mécanique, — au contraire, la *quantité de calorique*, au sens de Carnot, ne s'use pas plus que la quantité d'eau. Voir chapitre V, *Fiction de l'énergie pure et de l'énergie matérialisée*.

gie calorique ne naissait que lorsqu'il y avait une chute de calorique, comme il y a des chutes d'eau.

Nous retrouverons plus loin ces questions.

SECTION VI

Quantité totale de chaleur contenue dans un corps (Notion du zéro absolu)

Pour mesurer le volume de l'eau contenue dans un réservoir de forme irrégulière, — on vide le réservoir et on reçoit l'eau dans des vases de contenance connue (dans des litres calibrés).

Mais, pour l'exactitude de l'opération, il faut que le réservoir puisse se vider complètement. — Il faut pour cela que le sol, autour du réservoir soit plus bas, ou, du moins, aussi bas que le fond de ce réservoir. Sinon les dernières parties de l'eau ne s'écouleraient pas par le trou percé au niveau du fond.

De même, pour vider complètement un corps de ses calories (pour pouvoir les mesurer), il faut que le milieu, qui entoure le corps, soit à un niveau de température inférieur au niveau du fond du réservoir. — Si l'enceinte pouvait être à « 273 degrés au-dessous de 0 degré » (1), il ne resterait plus

---

1. Cette limite de (— 273 degrés) est donnée par ce fait qu'on mesure les températures à l'aide des pressions indiquées par le thermomètre à hydrogène à volume constant.

Toutes les fois que la pression du gaz du thermomètre varie de 0 cm. 366, soit environ de 1/273 de la valeur de la

une calorie dans le corps dont il est question, — et la mesure de la quantité totale de chaleur qu'il contenait, serait possible.

pression à 0 degré, — la température de ce thermomètre varie de 1 degré.

Ainsi lorsque la pression dans le thermomètre est de 103 cm. 665, sa température est 10 degrés.

Une conséquence très curieuse de nos définitions est l'existence d'une *limite inférieure* pour ces températures négatives (au-dessous de 0 degré). — Avec les conventions adoptées, il y a un nombre tel qu'il ne peut exister aucune température représentée par un nombre plus petit.

En effet, la pression du gaz du thermomètre ne saurait avoir une valeur plus *petite que zéro*. Or, à chaque diminution de la température de 1 degré, correspond une diminution de la pression du gaz de 1/273 de sa valeur à 0 degré

La température ne peut pas s'abaisser de plus de 273 degrés à partir de 0 degré, puisque à cette température de moins 273 degrés, la pression du gaz du thermomètre serait nulle.

La température : « moins 273 degrés » s'appelle, pour cette raison, le *zéro absolu*.

Bouasse, *Physique élémentaire*. Cours de Seconde C et D, p. 154-156. Paris, Delagrave.

CHAPITRE III

PREMIÈRE NOTION D'UNE TRANSFORMATION EXTERNE D'ÉNERGIE

Role de l'Extensité dans cette transformation

SOMMAIRE

Section I. — Définition, p. 32.
Section II. — De l'Extensité fictive (mutobase), p. 33.
Section III. — Modes de transformation de l'énergie calorique en énergie mécanique (Mutobase et Entropie), p. 36.
Transformation isovolume, — transformation isotherme, — transformation isobare, — transformation adiabatique.
Section IV. — Transformation externe par changement d'état, p. 40.

PREMIÈRE SECTION

Définition

Il serait bon de préciser ce qu'on entend par le mot « Échauffement d'un corps ».

Cela signifie-t-il que l'on chauffe le corps, c'est-à-dire que l'on prend des calories dans le monde extérieur et qu'on les introduit dans le corps ?

Ou bien cela signifie-t-il que la température du corps s'élève ?

Ces deux sens ne sont nullement synonymes. La température d'un corps peut s'élever brusquement à plusieurs centaines de degrés sans que l'extérieur lui ait fourni une seule

calorie en nature ; c'est ce qui se passe dans le briquet à air, où une simple compression porte l'air à une température suffisante pour enflammer l'amadou.

Et d'autre part, on peut voir baisser la température d'un corps à mesure qu'on le chauffe, par exemple la température de l'eau d'un alcarazas exposé à un rayonnement calorifique (1).

Dans le premier cas de l'énergie mécanique a disparu en même temps qu'il apparaissait de l'énergie calorique. — Dans le second cas c'est de l'énergie de changement d'état physique (vaporisation) qui a remplacé les calories détruites.

Dans tous les cas semblables on dit qu'il y a transformation de l'énergie calorique en une énergie *autrement dénommée* (ou réciproquement).

Nous désignerons ce phénomène sous le nom de *transformation externe* par opposition avec la *tranformation interne*, au cours de laquelle l'énergie ne change pas de nom (2).

SECTION II

De l'Extensité fictive (Mutobase) (3).

Pourrions-nous admettre qu'un même réservoir (de 1 mètre carré de base horizontale par exemple) puisse contenir plus

---

1. On peut chauffer un corps *isothermiquement*, sans élever la température. C'est ce qui a lieu quand on fait fondre de la glace ou bouillir de l'eau.

2. Voir ci-dessus, page 22.

3. Nous nous plaçons à un point de vue statique, et nous considérons la transformation *une fois opérée*.

Nous rechercherons plus tard ce qui se passe pendant que la transformation s'opère.

de 1 mètre cube d'eau, lorsqu'il est rempli jusqu'au niveau de 1 mètre de hauteur ?

Cette affirmation qu'un tel réservoir, sous ce niveau invariable peut contenir tantôt 1 mètre cube, tantôt 2, tantôt 3, ou plus, ne nous semblerait-elle pas bien étrange ?

C'est pourtant ainsi que les physiciens présentent les choses à propos de la chaleur ; et l'esprit a besoin de faire un effort (1) pour concevoir ce qui peut se cacher sous un tel symbole.

Comment notre réservoir pourrait-il arriver à contenir plus de 1 mètre cube d'eau ? Jouons un peu sur les mots. Admettons que l'eau *contenue* soit toujours la même chose que l'eau *reçue*, *absorbée* par le réservoir. Ce n'est pas toujours vrai.

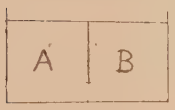


Fig. 6

Mais supposons, par exemple, que notre réservoir A soit *troué* vers le fond et communique avec un second réservoir B de contenance de 1 mètre cube également (2) (fig. 6).

Notre réservoir A pourra absorber 2 mètres cubes d'eau avant qu'on atteigne le niveau de 1 mètre.

Peut-on dire que le réservoir A contienne maintenant 2 mètres cubes d'eau ? Les physiciens se donnent cette licence, qui trouble un peu les profanes.

Pour entrer dans cette manière de voir, nous remarquerons que — l'énergie étant le produit de deux facteurs — si 1° le facteur intensivité (niveau) ne varie pas et si, 2° pourtant, la quantité totale de l'énergie augmente, — c'est que le facteur *extensité* a augmenté.

---

1. Chose fâcheuse au point de vue de l'hygiène mentale.
2. Placé sur le même plan horizontal.

Nous dirons que la base du réservoir (sa surface horizontale) a augmenté par suite d'une transformation. Une base fictive de supplément s'est surajoutée à la seule base réelle du réservoir.

Que représente notre image du réservoir percé ? Il symbolise la *fuite* d'énergie calorique, qui se transforme en une autre énergie.

Pour simplifier cette première exposition, imitons la thermodynamique qui suppose qu'il n'existe au monde que deux espèces d'énergies : l'énergie calorique et l'énergie mécanique.

Dans ces conditions, lorsqu'on verse un certain nombre de calories dans un corps, de deux choses l'une :

1° Ou bien toute cette chaleur acquise reste à l'état de *chaleur sensible* au thermomètre ;

2° Ou bien elle se transforme en tout ou en partie en énergie mécanique.

1° Lorsque toute la chaleur absorbée reste à l'état de chaleur sensible (1), l'extensité calorique reste constante (2) ; de sorte que, à une température donnée, l'extensité calorique est une *caractéristique* de chaque corps.

Prenant pour unité l'extensité calorique (chaleur spécifique) de l'eau, on peut attribuer à tous les corps une chaleur spécifique d'après le nombre de calories nécessaire pour amener leur unité de masse à la température indiquée.

---

1. C'est-à-dire, en général, lorsque le corps ne change pas de volume ; un changement de volume exigeant une production d'énergie mécanique.

2. Au moins quand la température varie peu. Au reste, il n'est pas nécessaire que le volume du corps varie pour qu'il y ait des fuites de chaleur par transformation.

$$\text{Température} = \frac{\text{(Nombre de calories absorbées)}}{\text{Extensité}}$$

2° *Extensité spéciale de transformation. — Mutobase.* — Mais lorsque la chaleur absorbée par le corps se transforme (en tout ou en partie) en énergie mécanique, alors l'extensité calorique *n'est plus invariable.*

Elle cesse d'être uniquement caractéristique de l'espèce de corps. Elle caractérise en outre la nature de la transformation.

Nous appellerons *muto-base* le supplément de base (d'extensité) qui correspond à la chaleur transformée.

SECTION III

Modes de transformation de l'énergie calorique en énergie mécanique

(Mutobase et entropie)

Prenons comme exemple le cas d'un corps gazeux comme véhicule de l'énergie calorique.

L'énergie calorique peut s'être transformée d'une infinité de manières en énergie mécanique.

On a coutume de distinguer entre autres — 4 cas remarquables de transformation :

1° La transformation isovolume;

2° La transformation isotherme;

3° La transformation isobare;

4° La transformation adiabatique.

1° Dans la transformation isovolume (isométrique), on admet que toute la chaleur reçue reste à l'état de *chaleur sensible.* Aucune partie ne se transforme en énergie mécanique. La totalité sert à élever la température du corps.

L'extensité est invariable. Le corps absorbera des calories tant que l'intensivité, le niveau, pourra varier, tant que ce niveau, dans le réservoir récepteur, sera plus bas que le niveau de la source.

2° Dans la transformation isotherme, au contraire, la totalité de l'énergie calorique absorbée est transformée en énergie mécanique. Aucune portion ne sert à élever la température, la transformation est donc à température constante.

Ici il n'y a aucune limite à l'absorption de la chaleur, si ce n'est le nombre de calories que la source peut fournir.

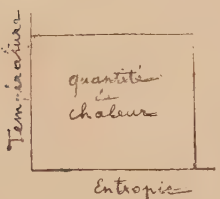
Quelle sera la pseudo-extensité, la mutobase, ce qu'on appelle communément la capacité ? Elle est sans autre limite que celle ci-dessus indiquée. Notre premier réservoir possède un trop plein à un niveau donné et par là il communique avec un deuxième réservoir de base indéfinie. On peut verser dans le réservoir A autant d'eau qu'on voudra sans jamais faire monter le niveau (température).

Dans ce cas particulier, l'extensité de transformation, la mutobase est représentée par une fonction que Clausius a appelée *l'entropie* (1).

L'entropie est le quotient de la quantité (variable) de cha-

---

1. Voir Clausius, *Théorie mécanique de la chaleur*. Traduction Folie. Paris, Hetzel, 1er vol., p. 150.



Dans le diagramme (entropie-température) (fig. 7) employé journellement en mécanique appliquée, la quantité de chaleur est représentée par une surface dont les deux facteurs sont 1° la température, 2° l'entropie (M. Kœnigs, son cours à la Sorbonne). — Boulvin, *Cours de mécanique appliquée aux*

leur absorbée — divisée par l'intensivité (température comptée depuis le zéro absolu). Cette température est fixe puisque la transformation est isotherme.

L'entropie est la base de notre second réservoir B supplémentaire (1). Le réservoir A est plein et son niveau ne varie pas. Le niveau en B doit être le même qu'en A ; pour arriver à ce résultat, à mesure qu'on verse de l'eau, les parois de B s'écartent et la base s'élargit. A mesure que le corps (déjà saturé de chaleur lui-même) absorbe de nouvelles calories, l'entropie s'élargit.

Dans le réservoir B la hauteur du volume (parallélipipède) d'eau est fixe. Donc, toute variation du volume d'eau doit être nécessairement accompagnée d'une variation de la base.

$$\left(\begin{array}{c}\text{Variation}\\ \text{d'Entropie}\end{array}\right) = \frac{\left(\begin{array}{c}\text{Variation de quantité}\\ \text{d'énergie calorique absorbée}\end{array}\right)}{\left(\begin{array}{c}\text{Température}\\ \text{fixe}\end{array}\right)}$$

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

3° *Transformation isobare.* — Une transformation isobare est celle dans laquelle la pression ne varie pas. La température et le volume varient.

---

machines, 3e fascicule, 2e édition, 1905, Paris, E. Bernard, p. 51. — Boulvin, *le Diagramme entropique et ses applications*, Paris, Dunod, 1897 et *Revue de mécanique*, 1897. — Matisse, *le Principe de la Conservation de l'Assise*, p. 2. Paris, Hermann, 1907. — Gibbs, *Diagrammes et surfaces thermodynamiques*. Collection Scientia, Paris, Naud, 1903. — *Revue de mécanique*, année 1901, nos 3 et 5. Article de Boulvin. — *Id.*, 1909, n° 3, p. 152.

1. Voir fig. 6, p. 34.

Dans une telle transformation une partie seulement de la chaleur absorbée reste à l'état de chaleur sensible.

Cette partie *non transformée* (chaleur sensible) a pour intensivité l'accroissement de la température et pour base (extensité) la capacité calorique à volume constant, c'est-à-dire la seule vraie extensité calorique (v. le 1°).

Quant à la seconde partie de la chaleur absorbée, elle représente une transformation isotherme, puisque ce supplément de calories absorbées ne contribue pas à faire varier la température.

4° *Transformation adiabatique ou isentropique.* — Dans ce cas, on ne peut plus parler de chaleur absorbée, puisque le corps considéré ne reçoit pas de chaleur en nature du monde extérieur et ne lui en cède pas.

L'entropie ne varie pas, puisque l'entropie est une notion spécialement attachée à celle de chaleur absorbée.

Mais cela ne signifie nullement que la quantité de chaleur sensible contenue dans le corps ne va pas varier. Ce corps peut échanger de l'énergie *mécanique* (1) avec le monde extérieur. — L'énergie mécanique, qu'il reçoit du dehors, il peut la transformer, totalement ou partiellement, en chaleur sensible et, dans ce cas, l'élévation de sa température dépendra de son extensité calorique vraie (capacité à volume constant).

Un homme, qui court, crée adiabatiquement un certain nombre de calories. Sa température tend à s'élever (d'autant plus que son corps a une plus faible extensité calorique).

Mais ce phénomène est masqué par la régulation dirigée par le système nerveux.

1. L'impossibilité d'échanges (l'adiabatisme) entre le corps et le monde extérieur n'existe ici que pour la chaleur sensible au thermomètre.

SECTION IV

Transformation externe par changement d'état

La question des changements d'état physique sous l'influence de la chaleur pourrait rentrer (au même titre que la question des changements de volume et de pression) dans le chapitre des extensités.

Voici un corps, la glace, qui absorbe un certain nombre de calories et pourtant sa température ne varie pas. Il change d'état, il fond, mais un kilogramme de glace à o degré est remplacé par un kilogramme d'eau à o degré. Et tant qu'il existe de la glace solide, la température ne s'élève pas (1).

De même, lorsqu'on fait bouillir de l'eau à pression constante, tant qu'il reste de l'eau liquide, le corps absorbe des calories sans que la température s'élève.

Pour expliquer cette anomalie, c'est-à-dire pour la relier à notre système de comparaisons, on peut dire ceci : « Le liquide, par suite de ce changement d'état, ajoute à son extensité normale, une extensité supplémentaire qui grandit proportionnellement au nombre des calories absorbées. Cette sorte d'élasticité de la base du réservoir supplémentaire se conserve tant qu'il reste du liquide. Mais à peine la dernière goutte a-t-elle disparu, le niveau température recommence à monter, parce que toute la chaleur absorbée, désormais

---

1. Il faut environ 80 calories pour transformer 1 kilogramme de glace à o degré en un kilogramme d'eau à o degré. Chappuis et Berget, *Leçons de physique générale*, t. I. Paris, 1907, p. 472.

Pour transformer 1 kilogramme d'eau à 100 degrés en 1 kilogramme de vapeur à 100 degrés, à la pression de 760, il faudrait dépenser plus de 500 calories.

reste à l'état de chaleur sensible ; il n'y a plus de transformation externe d'énergie calorique en énergie de changement d'état.

On pourrait enfin exprimer sous forme de changement d'extensité les pertes d'énergie calorique qui se présentent dans les transformations chimiques.

CHAPITRE IV

GÉNÉRALISATION DE LA NOTION DE TRANSFORMATION D'ÉNERGIE

Ces quelques exemples nous ont permis de nous former une première idée de ce qu'est une transformation d'énergie.

Mais ce serait se faire une idée beaucoup trop étroite de la question, de croire que seules l'énergie calorique et l'énergie mécanique peuvent se transformer l'une dans l'autre.

L'énergie électrique, l'énergie chimique, l'énergie rayonnée, etc., peuvent donner de l'énergie calorique par transformation, ou inversement être par leur production une cause de refroidissement.

Le médecin doit se persuader de cette vérité et ne pas croire que le thermomètre suffise à lui seul à le renseigner sur l'influence probable d'un milieu donné.

Dans l'atmosphère qui nous entoure, il faut distinguer entre : 1° la chaleur actuelle et 2° la chaleur possible.

La chaleur, qui agit sur le sujet, n'est pas toujours la la chaleur sensible du milieu. Le thermomètre ne décèle pas

les transformations qui ne passent pas (en dehors du corps du sujet) par le stade de chaleur sensible. Nous verrons qu'elles peuvent cependant donner lieu à la sensation de chaleur et aux autres effets que produit la chaleur. La chaleur sensible n'est qu'un symptôme, une apparence, qui peut manquer, bien que l'action existe.

Dans le milieu extérieur, il peut n'exister que des énergies étrangères, transformables, il est vrai, en chaleur, mais transformables seulement à l'intérieur de l'organisme.

Voici notre malade assis en plein air. Le thermomètre marque 20 degrés à l'ombre; c'est la température du milieu. Mais mesurons-nous ainsi réellement l'effet produit sur le sujet ? Le malade prendra-t-il toujours le même état calorique chaque fois que le thermomètre indiquera 20 degrés ?

Nos sensations déjà nous avertissent qu'il existe bien des variétés de chaleur à 20 degrés.

On sait, du reste, qu'il n'est pas nécessaire que le milieu soit chaud pour qu'un corps, plongé dans ce milieu, s'échauffe. Par une journée d'hiver ensoleillée, où le thermomètre fronde marque 0 degré, la température d'une surface noircie, bien exposée, s'élève notablement.

Un milieu donné est sans cesse sillonné par un nombre infini de courants d'énergies de toute nature. Ces énergies ne produisent aucun effet dans le milieu, ne sont même pas soupçonnées, tant qu'on ne place pas dans ce milieu un *résonateur* approprié (1).

Si l'énergie calorique existait toujours toute faite dans l'air

1. V. « Des courants oscillatoires et des résonateurs », ch. XIV, sect. V, § 2, p. 113.

qui nous entoure, on ne constaterait pas les différences considérables qui existent à ce point de vue entre les différents sujets.

La vérité est que, la plupart du temps, pour profiter de la chaleur, il faut commencer par la faire soi-même en transformant d'autres énergies. Or, nous ne sommes pas tous de bons transformateurs.

CHAPITRE V

COMPLÉMENTS A LA REPRÉSENTATION DE L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Première section. — De l'énergie pure et des énergies matérialisées, p. 45.
Section II. — Des véhicules des énergies spéciales et de la variation de la masse, p. 49.
Section III. — Efficacité et concentration de l'énergie, p. 50.
Section IV. — Résumé. Facteurs de l'énergie matérialisée, p. 51.

PREMIÈRE SECTION

De l'énergie pure et des énergies matérialisées

Arrivé au point où nous en sommes, il est utile de revenir sur la représentation que nous nous étions faite, de ce qu'on appelle l'énergie.

Il faut préciser ces notions afin que l'esprit puisse se mouvoir au milieu de ces schémas sans se heurter à des représentations disparates et qui le déroutent (1).

Aussi bien, il va nous falloir distinguer entre les énergies spéciales qui se transforment les unes dans les autres.

1. *Hygiène mentale.*

Cherchons donc ce que toutes ces énergies ont de commun, et ce qui est passé d'une énergie à l'autre lorsqu'il y a eu transformation d'énergie.

La caractéristique de l'énergie, en général, c'est l'*efficacité*. Est énergie tout ce qui a un effet (1). Cet effet, ce changement ne se produirait pas dans le monde si cette énergie n'existait pas.

Nous proposerons les images suivantes, qui nous semblent utiles pour soutenir l'esprit dans l'étude de l'enchaînement des phénomènes.

Nous considérerons l'énergie (2) comme une entité fictive

---

1. Effet au moins possible, si certaines résistances disparaissaient. Voir page 58 la discussion sur l'énergie utilisable (*Principe de la dégradation de l'énergie*), chap. VII, sect. II.

2. M. Perrin, dans *ses Principes* (*Chimie physique*. Paris, 1903, Gauthier Villars), page 108, s'exprime ainsi : « Quand des changements sont très analogues et, en particulier, quand ils peuvent apparaître, grâce à l'emploi de mécanismes analogues — et de même disparaître grâce à l'emploi de mécanismes analogues, leur considération éveille forcément l'idée d'une *même forme d'action possible* sur les systèmes extérieurs. — Plus brièvement, nous dirons qu'ils représentent une *même forme d'énergie*...

» Mais cette façon de parler serait dangereuse si elle conduisait à regarder inconsciemment l'énergie comme une *entité mystérieuse* qui se laisserait deviner au travers des changements de la matière ou de l'éther ; mais qui posséderait une *réalité indépendante*, à la façon d'un fluide indestructible et éternel.

» Rien n'autorise cette hypothèse vague et obscure, qui cependant est sûrement présente en de nombreux esprits. »

Certes, nous ne croyons pas que l'énergie physico-chimique soit une entité ayant une vie propre en dehors de l'esprit des savants. Cependant il vaut mieux avouer tout de suite ce que plusieurs conservent comme pensée de derrière la tête.

Lorsqu'on veut se servir d'un instrument, on aliène une partie de sa liberté. Il faut se plier aux exigences de cet instrument. Ainsi, lorsqu'on emploie un microscope, on est astreint généralement à faire des coupes minces et des colorations, ce qui n'est

(si l'on peut s'exprimer ainsi), une entité capable de circuler à travers la matière, en communiquant à celle-ci une sorte de vie, qu'on appelle le changement, dont le mouvement est un exemple.

Cette entité fictive serait, du reste, indestructible et en quantité limitée (*Principe de la conservation de l'énergie dans un monde isolé*).

Pour la commodité de la description, nous distinguerons :

Une énergie pure ;

Et des énergies matérialisées.

---

pas sans inconvénient pour la connaissance exacte des faits.

Lorsqu'on se sert de l'instrument « esprit », on est obligé de concréter, de matérialiser la pensée, de créer des schémas qui se voient et se touchent presque. Sinon, il est impossible de suivre longtemps cette pensée. Ce serait un trop lourd travail.

L'esprit a aussi son énergétique, dont il faut respecter les lois.

Aussi bien le monde physique est peuplé de nos schémas. Les mathématiciens voient sans cesse devant eux ces images qu'on appelle des termes algébriques, des équations. Ce sont pour eux de véritables corps qu'ils pourraient presque toucher. Sans ces images leurs raisonnements n'auraient pas de soutien.

Ceux qui n'ont point l'usage des mathématiques se servent d'images empruntées à un monde qui leur est plus familier. Le fait mystérieux de *comprendre*, de *voir clair* dans une question, est plus souvent le résultat d'une habitude que d'une illumination instantanée par suite d'un raisonnement logique.

Certes, le procédé mathématique de représentation est plus concis, permet de concevoir simultanément des rapports beaucoup plus nombreux entre les choses que la représentation ordinaire (Voir les réflexions de Cournot sur les tableaux à entrées multiples, dans son ouvrage : *Fondement de nos connaissances*).

Voir aussi H. Poincaré, *la Valeur de la science*. Paris, Flammarion, 1909.

De même l'alphabet analytique légué par les Phéniciens permet des applications infiniment plus vastes que l'encombrant alphabet chinois.

Mais l'appareil mathématique avec ses abstractions, ne semble le plus maniable qu'à la condition d'en avoir une grande habitude.

Deux choses sont en présence : l'énergie pure et la matière inerte.

L'énergie pure a tendance à se *matérialiser*. Elle est avide de matière comme l'alcool absolu est avide d'eau.

L'énergie pure se dissout en quelque sorte dans la matière.

Et de même qu'un solide, dissous dans un liquide, devient semblable à un gaz et remplit tout l'espace qui lui est offert dans le liquide (1). Ainsi l'énergie pure, dissoute dans la matière remplirait tout l'espace qui lui serait offert, toute matière, dont elle ne serait pas séparée par une paroi isolante.

Notons qu'il existe autant d'énergies matérialisées différentes qu'il existe d'espèces de matière.

L'énergie pure est une ; mais chaque matière donne sa qualité particulière à l'énergie matérialisée résultant de son union avec l'énergie pure.

L'éther lui-même est une matière en ce sens et donne l'énergie rayonnée (2). La matière mécanique donne l'énergie mécanique ; — la matière calorique donne l'énergie calorique ; — la matière électrique, l'énergie électrique.

Ces images nous seront utiles pour matérialiser le concept de transformation d'énergie.

---

1. Théorie de Van-t-Hoff. Voir Ostwald, *Évolution d'une science, la Chimie*. Paris, Flammarion, 1909, p. 243.

2. Le poids n'est nullement une caractéristique de la matière en général. Il ne caractérise que la matière mécanique. Le poids c'est la faculté de transformer en énergie de mouvement, l'énergie d'attraction terrestre.

Si cette attraction était de nature magnétique, le fer serait pesant, et le cuivre ne le serait pas. Le cuivre pourtant serait encore de la matière.

De nos jours, du reste, la notion de matière est en voie de transformation. Voir Perrin, *les Atomes*. Paris, Alcan, 1913.

Pour désigner des parcelles de ces matières spéciales, nous emploierons même des mots comme électrons, mécanons, calorons, sans y attacher autre chose qu'un sens fictif.

SECTION II

Des véhicules des énergies spéciales et de la variation de la masse

Reprenons l'étude de ces véhicules dont nous avons dit un mot précédemment (1). Nous pouvons admettre que les corps qui tombent sous nos sens, comme une masse d'eau ou de fer, ne représentent qu'une sorte de gangue, de matière véhiculante.

Un corps est un agrégat d'une foule de matières spéciales, qui pourront donner lieu à telle ou telle énergie matérialisée, selon que l'énergie pure se portera sur l'une ou sur l'autre de ces matières.

A l'intérieur de cette masse véhiculante, les électrons, les mécanons, les calorons sont en nombre pratiquement infini. Seulement certaines circonstances peuvent rendre une grande partie de ces éléments imperméables à l'énergie pure ; si le corps est un isolant, une partie seulement de sa matière caractéristique peut être *activée*. Le caloron A le sera, et le caloron B, voisin du premier, restera privé d'énergie.

D'autres influences augmentent le nombre des éléments (électrons, etc.) qui sont activés.

---

1. Voir p. 25, chapitre II, section III.

En sorte que, si la masse du corps véhiculant ne varie pas, cependant la masse utile de l'une de ses matières spéciales peut varier beaucoup d'un instant à l'autre.

On peut ainsi se représenter ce fait : que *la chaleur spécifique* d'un même corps puisse varier avec une foule de circonstances (1). Le nombre des calorons activés varie, dans le cas où les conditions d'isolement, de cloisonnement intérieur du corps varient elles-mêmes.

A un instant donné, une certaine quantité d'énergie pure trouve beaucoup de calorons activables ; donc elle imprimera à chacun moins d'activité, moins de vitesse ; le niveau de température sera moins élevé.

SECTION III

Efficacité et concentration de l'énergie

Le résultat de l'imprégnation d'une matière caractéristique par une certaine quantité d'énergie pure, c'est la création d'une énergie matérialisée d'une espèce donnée.

Une énergie matérialisée est d'autant plus efficace que la proportion d'énergie pure qu'elle contient est plus grande.

Mélangeons 50 centimètres cubes d'acide sulfurique pur avec 100 grammes d'eau, nous obtenons une liqueur très efficace pour ronger une étoffe par exemple.

1. Ce n'est pas là une explication au sens absolu. Mais pratiquement expliquer, c'est simplement relier entre elles une série de notions ou même une série d'images, de façon que l'esprit ait une impression satisfaisante de continuité, et n'éprouve pas de heurts qui détruise la vitesse acquise des idées et l'élan de compréhension (hygiène mentale).

Au fond, les lois de la physique ne sont qu'une série d'attitudes de l'esprit, attitudes plus ou moins heureuses, plus ou moins hygiéniques, pourrait-on dire en un sens.

Diluons ces 50 centimètres cubes d'acide dans 100 mètres cubes d'eau, l'efficacité de la liqueur sera pratiquement nulle.

A mesure que l'énergie pure imprègne un plus grand nombre d'unités de masse de matière, le facteur intensivité de l'Energie matérialisée (hauteur) diminue (1) et le facteur extensité (base horizontale) augmente.

SECTION IV

Résumé. — Facteurs de l'énergie matérialisée

L'énergie matérialisée, ce n'est point le produit : 1° de l'énergie pure ; 2° multipliée par la quantité de matière ; car il suffirait dans ce cas d'augmenter la masse de matière pour augmenter la quantité d'énergie.

C'est le produit 1° de la *concentration* en énergie pure ; 2° multipli é par la masse de matière (2).

Si la masse matérielle augmente, par ce fait même, la concentration diminue. Et le produit (quantité d'énergie matérialisée) reste constant.

---

1. Les intensivités sont des concentrations. L'intensivité c'est la quantité d'énergie matérialisée par unité d'extensité. Le potentiel de gravitation c'est l'énergie par unité de masse. La température c'est le nombre de calories par unité d'extensité calorique. Le potentiel électrique c'est le nombre de volts-coulombs par coulomb. La hauteur d'eau, c'est le nombre de mètres cubes d'eau par mètre carré de surface horizontale.

2. Il est facile de vérifier que l'efficacité d'une énergie dépend bien de ces deux facteurs. L'importance de l'action d'une solution acide dépendra à la fois de la concentration de la liqueur et de sa masse.

Un kilogramme de pierre calcaire ne sera pas entièrement dissous dans 10 centimètres cubes de solution acétique à 10 0/0. Il disparaîtra totalement dans 10 mètres cubes de la même liqueur.

Un litre d'acide et 10 litres d'eau donnent une intensivité, une concentration de 1 10 qui multiplie l'extensité 10 litres. On a une énergie matérialisée = 1.

Un litre d'acide et 1.000 litres d'eau donnent une concentration de 1 1000 qui multipliant l'extensité de 1000 litres, donne encore une quantite d'energie matérialisée = 1.

Autre exemple : Une certaine quantité d'énergie pure impregnant 10 coulombs de matière électrique, donne une certaine concentration qu'on désignera par l'expression 2 volts. L'energie matérialisée correspondante sera de 20 volts-coulombs.

Doublons la quantite de matière électrique, soit 20 coulombs, sans changer la quantité d'énergie pure. — La concentration diminuera de moitié ; nous n'aurons plus qu'un volt, et le produit en énergie materialisee sera toujours 20 volts-coulombs (1).

De même pour l'energie calorique, 20 calories représenteront aussi bien : 1° le produit de 20 unités d'extensité, de matière calorique multipliees par 1 de concentration (1 degré de temperature), — que 2° le produit de 10 unités d'extensité par une concentration de 2 degrés de température.

Nous n'insisterons pas ici sur la dégradation qui peut accompagner cette apparente conservation de la quantité d'énergie matérialisée.

---

1. Nous avons adopté pour l'un des facteurs de l'énergie, l'expression *d'intensivité* pour éviter toute confusion avec le mot *d'intensite* qui dans la langue courante de l'Electrologie désigne precisement l'autre facteur, l'extensite de courant, l'ampérage.

CHAPITRE VI

DE L'ÉQUIVALENCE DANS LA TRANSFORMATION EXTERNE D'ÉNERGIE

A propos de la transformation d'énergie, deux questions bien distinctes peuvent être posées :

1° Dans le cas où une partie de l'énergie calorique se transformerait en énergie mécanique, quelle est la relation numérique existant entre les unités caloriques et les unités mécaniques ? — En un mot, combien de calories devront disparaître pour que 1 kilogrammètre apparaisse ?

A la suite de nombreux travaux, parmi lesquels ceux de Joule tiennent la première place, on admet que 1 kilogrammètre équivaut à 425 calories (1).

Deuxième question. — Mais cette première découverte ne nous suffit pas.

Nous savons maintenant que chaque fois qu'une grande calorie consentira à se transformer en énergie mécanique, elle donnera nécessairement 425 kilogrammètres.

1. Voir sur l'œuvre de Robert Mayer, le livre de Ostwald, *l'Énergie*. Paris, Alcan, 1910, p. 72 et suiv. — Weiss, *Physiologie du travail musculaire et de la chaleur animale*, p. 61 et 133. Paris, Masson, 1909.

Mais cette calorie consentira-t-elle toujours à cette transformation? Suffira-t-il de compter les calories au commencement de la transformation pour pouvoir affirmer qu'à la fin on trouvera un nombre de kilogrammètres égal à la 425e partie du nombre de ces calories (1)?

Évidemment non. Il resterait donc à rechercher quelle proportion de calories se transformeront en énergie mécanique.

---

1. Ostwald, *l'Énergie*, p. 109.

CHAPITRE VII

DES DEUX PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE

Conservation de l'Énergie. — Dégradation de l'Énergie.

SOMMAIRE

Section I. — Conservation de l'énergie, p. 55.
Section II. — Principe de la dégradation de l'énergie, p. 57.
Section III. — L'énergie interne et la conservation de l'énergie, p. 61.

La thermodynamique a posé deux principes :

1° Celui de la conservation de l'énergie (Robert Mayer, Joule) ;

2° Celui de la dégradation de l'énergie (Carnot, Clausius).

PREMIÈRE SECTION

Conservation de l'énergie

Parlons d'abord du premier principe. A travers toutes les transformations externes et internes, la quantité totale d'énergie reste la même dans un corps parfaitement isolé du reste du monde.

Il s'agit de l'énergie matérialisée totale contenue dans le corps. Nous rappelons notre définition de l'énergie matéria-

lisée : « C'est le produit : 1° de la concentration en énergie pure (intensivité) ; — 2° multipliée par la masse de matière actuellement activée (extensité). »

Pour qu'une *transformation interne* soit possible dans un corps isolé, il faut que l'énergie pure soit concentrée sur un point, soit *localisée* à haute intensivité (haut potentiel) dans un petit nombre de calorons par exemple. La transformation interne consistera dans l'effondrement de la haute température, dans la diffusion de l'énergie pure qui se répartira entre un très grand nombre de calorons du même corps *isolé*. — Nous avons vu page 51 chapitre V *in fine* que, dans ce cas, la quantité d'énergie matérialisée reste constante ; si le facteur extensité augmente, le facteur concentration diminue dans la même proportion.

Quant aux transformations externes il en va de même. Une énergie ne peut pas donner naissance à une autre énergie sans s'user elle-même.

L'énergie pure qui existait à haute concentration dans quelques calorons — s'est en partie répandue dans un certain nombre d'électrons du même corps isolé. — La matière de l'énergie matérialisée est devenue mixte. C'est une somme de matière calorique activée et de matière électrique activée. Le total de la matière activée a augmenté, c'est incontestable. Mais la concentration de l'énergie calorique a diminué, la température a baissé.

Y a-t-il conservation de l'énergie matérialisée totale ? — Pour le vérifier, il suffit d'additionner la quantité d'énergie matérialisée électrique et la quantité restant d'énergie calorique. Mais en arithmétique primaire on enseigne qu'on ne peut pas additionner des poires avec des pommes. Pour réduire

les deux termes en unités de même espèce, il faudrait rechercher quel est l'équivalent calorique de l'électricité.

C'est analogue à ce qui a été fait pour l'équivalent mécanique de la chaleur.

Disons maintenant quelques mots du second principe de la thermodynamique. Nous reprendrons ensuite la question de l'énergie interne qui se rattache à celle de la conservation de l'énergie.

SECTION II

Principe de la dégradation de l'énergie

Nous venons de parler de la conservation de l'énergie. Mais il y a là une confusion possible ; l'hygiéniste mental, en présence de la complication des notions scientifiques, doit toujours se préoccuper des fausses directions dans lesquelles un esprit non prévenu peut se lancer et s'épuiser en vain (1).

« La lecture des ouvrages de vulgarisation, la conversation avec des personnes cultivées : philosophes, médecins, hommes du monde, qui, sans être des physiciens, possèdent quelques notions de physique, l'interrogation des élèves qui ont terminé leurs études secondaires — tout au moins jusqu'à ces toutes dernières années — impose la constatation d'un fait extrêmement général :

1. La confusion que le public commet encore aujourd'hui a pour excuse de correspondre peut-être à un moment fugitif de la pensée des plus grands savants. Brunhes, *la Dégradation de l'Énergie*, p. 252. Paris, Flammarion, 1909.

« Quand on parle de la conservation de l'énergie, on commet sur le mot énergie un CONTRE-SENS.

« On sous-entend par ce mot ce que le physicien appelle *énergie utilisable* — et ce contre-sens est la raison profonde de l'importance que le public cultivé attache à l'idée de conservation de l'énergie. Quand le physicien affirme que : ce qui reste permanent, c'est une certaine fonction qui se trouve la somme de : 1° *l'énergie richesse* et 2° de *l'énergie déchet* — son interlocuteur comprend que c'est *l'énergie richesse* qui se conserve (1). »

Deux exemples illustreront la distinction précédente :

Premier cas. — Nous avons un réservoir d'eau sous forme d'un cylindre vertical de grande hauteur. Nous ouvrons la vanne de sortie et l'eau, en s'écoulant, fait tourner une roue de moulin.

L'énergie contenue dans cette eau était donc de l'énergie *utilisable*, c'est-à-dire transformable, au moins partiellement en énergie de mouvement de la roue.

Deuxième cas. — Mais maintenant le réservoir s'est vidé. L'eau s'est conservée ; elle est là, répandue sur la terre en couche mince. Le volume, la masse de cette eau n'ont pas changé. Mais des masses étrangères (le moulin), etc. ont emprunté une partie de son énergie pure.

Donc la masse totale, l'extensité ont grandi.

L'intensivité, la concentration en énergie pure a diminué dans la même proportion.

L'énergie totale n'a pas varié.

Seulement l'énergie de l'eau ne peut plus être utilisée.

---

1. Brunhes, *la Dégradation de l'Énergie*, p. 8.

Cette eau reste là immobile, incapable désormais de faire tourner la roue du moulin.

Pour une énergie particulière, être *utilisable*, c'est être capable de se détruire, de se transformer en une autre espèce d'énergie.

Or, la condition pour qu'une énergie Prima subisse une transformation *externe*, c'est qu'elle commence par se mettre elle-même en mouvement, sous forme de courant, c'est qu'elle soit d'abord le siège d'une transformation *interne* qui change son intensivité en extensité (1).

C'est bien là ce qu'avait remarqué Carnot. Pour que l'énergie calorique se transforme en énergie mécanique, il faut avoir deux sources : 1° une source chaude (c'est-à-dire un lieu où la chaleur aura une grande intensivité et une faible extensité) ; — 2° une source froide (c'est-à-dire un lieu où la chaleur aura une faible intensivité et une grande

1. Quant toute l'énergie calorique d'un système (isolé du reste du monde) est au même niveau, on dit que cette énergie est *inutilisable*.

On peut remarquer que c'est seulement *l'ensemble* de l'énergie qui n'a plus d'effet, qui est inutilisable. C'est seulement l'effet résultant qui est nul. — Chaque portion de cette énergie a encore son effet ; seulement cet effet est annulé par l'effet de la portion voisine. La résultante est nulle.

Deux hommes d'égale force tirent en sens inverse l'un de l'autre. L'énergie de chacun reste utilisable; elle a un effet qui est d'empêcher son adversaire d'avancer.

Mais l'énergie résultante du système des deux lutteurs est inutilisable. Elle n'a pas d'effet apparent. Il n'y a plus d'*énergie libre*, dirait Helmoltz.

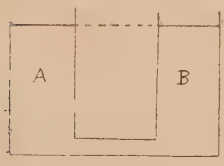


Fig. 8

Dans deux vases communiquant A et B, l'eau étant au même niveau, — il n'y a plus d'effet général, plus de transport d'eau d'un vase à l'autre. Mais l'eau du vase A continue à avoir un effet particulier qui est d'empêcher l'eau de B d'avoir un effet général, de transporter de l'eau de B en A (fig. 8).

extensité). — En passant de l'un de ces lieux à l'autre, l'énergie calorique pourra se transformer partiellement en énergie mécanique (1).

Carnot désigne l'énergie utilisable sous le nom de *puissance motrice.*

Une énergie matérialisée est d'autant plus utilisable qu'elle est moins matérialisée, moins dégradée, qu'elle a une plus grande intensivité et une moindre extensité.

Clausius, reprenant les idées de Carnot, découvrit au cours de ses calculs une fonction à laquelle il donna le nom d'Entropie (2). Il reconnut que, dans les phénomènes naturels, les variations de cette fonction ont lieu dans un sens unique. L'entropie ne peut devenir que plus grande, jamais plus petite (3).

William Thomson donne à cet accroissement d'entropie le nom de *dissipation* et il arrive à la conclusion que la fin de l'univers se produira sous la forme d'un état d'énergie dissipée, où il ne se passera plus rien.

Clausius, à sa suite, donna la formule célèbre : « L'entropie de l'Univers tend vers un maximum » (4).

A la vérité la notion d'entropie ne paraît pas nécessaire pour caractériser cette loi générale que les corps descendent naturellement les pentes au lieu de les remonter, et que l'eau fuit les lieux élevés pour gagner les lieux bas, quand rien ne

---

1. Voir Sadi Carnot, *Réflexions sur la Puissance motrice du feu*, p. 14 (édition 1903, Paris, Hermann).
2. Voir p. 37, chapitre III, section III.
3. Ostwald, *l'Énergie*, p. 113.
4. Ostwald, *l'Énergie*, p. 115. — Brunhes, *la Dégradation de l'énergie*, p. 356.

s'oppose à son cours (1). La tendance générale est l'augmentation d'extensité (2). L'entropie n'est qu'une forme particulière d'extensité.

SECTION III

L'Énergie interne et la conservation de l'énergie

L'expérience de chaque jour prouve que l'énergie de mouvement peut ne pas se conserver. Un projectile pénètre dans un corps mou ; bientôt il s'arrête ; l'énergie de mouvement a disparu ; — est-ce une exception à la loi de conservation de l'énergie ou bien l'énergie n'a-t-elle fait que changer de forme ?

En réalité, le projectile, arrêté dans sa course, s'est échauffé.

Quand on eut admis que la chaleur était une nouvelle forme de l'énergie, et qu'on eut mesuré l'équivalent mécanique de la chaleur, cette apparente exception au principe de conservation fut écartée.

Pourtant, il y avait encore des cas où le total de l'énergie restante dans le corps (énergie mécanique, plus chaleur sensible) ne correspondait pas à l'énergie primitive détruite.

Prenons un bloc de glace à zéro degré et transformons-le en eau à zéro. Pour cela nous lui fournirons de la chaleur (si le bloc pèse un kilogramme, il faudra dépenser 80 grandes calories).

---

1. Voir Hostelet, *Revue générale des Sciences*, n° du 30 juin 1907, p. 494.

2. Ce qu'on perd en hauteur doit être retrouvé en surface. L'énergie pure tend à diffuser, à se diluer de plus en plus, dans des masses de matière de plus en plus grandes.

Mais, d'autre part, en se liquéfiant, il diminuera de volume ; C'est donc de l'énergie mécanique que le monde extérieur a fait pénétrer dans le corps (1).

Voilà donc une transformation dans laquelle le corps a reçu à la fois de l'énergie mécanique et des calories. Il n'a rien donné en échange ; et pourtant lui-même ne paraît avoir acquis aucune énergie nouvelle, ni mécanique, ni calorique. Il est maintenant immobile et sa température n'a pas changé.

Le principe de la conservation semblerait en défaut, puisque rien n'a remplacé les énergies détruites.

Pour corriger ce vice de la théorie, on a inventé l'*Énergie interne*, sorte de *caput mortuum* sous lequel on range toutes les énergies résultantes qui ne sont ni mécaniques, ni caloriques.

D'une façon générale, lorsque la température du corps récepteur ne varie pas, on pose que :

$$\left(\begin{array}{c}\text{Quantité de chaleur absorbée par le corps évaluée en unités mécaniques}\end{array}\right) = \left(\begin{array}{c}\text{Quantité d'énergie mécanique rendue en échange par le corps}\end{array}\right) + \left(\begin{array}{c}\text{Variation de l'énergie interne du corps.}\end{array}\right)$$

$$Eq = T + E(U_B - U_A).$$

Au fond, cela revient à admettre une extensité spéciale d'énergie interne qui fixe l'énergie pure laissée libre par l'extensité calorique du corps et par l'extensité mécanique.

---

1. En cas de regel, l'eau restituera au monde extérieur cette énergie mécanique. Elle augmentera de volume et refoulera l'air qui avait pris la place.

De même, elle rendra au monde extérieur les calories qu'elle lui avait prises en fondant.

CHAPITRE VIII

ROLE DE L'ESPACE DANS LA RÉPARTITION DE L'ÉNERGIE

L'existence de la matière (dans l'énergie plus ou moins matérialisée) a un effet remarquable.

Elle fait que la provision d'énergie, dont on dispose, ne peut pas être localisée en un seul point géométrique. Une certaine quantité d'énergie occupe nécessairement un certain espace, un certain volume.

Et cela a une grande importance pour l'utilisation de l'énergie. Nous verrons, en étudiant l'efficacité, que jamais la totalité de la provision d'énergie ne se trouve concentrée au point précis, où l'on aurait besoin d'elle.

Géométriquement, un volume peut être considéré comme le produit d'une *surface* par une *profondeur*.

Or la provision d'énergie est répartie d'abord en surface. Elle crée ce qu'on appelle la *pression par unité de surface*. Et cette pression est d'autant plus grande que la surface est plus petite. L'action d'une quantité d'énergie calorique représentée par cent calories est d'autant plus forte sur une paroi que cette paroi est de moindre surface.

L'énergie se répartit ensuite en profondeur. L'énergie par

unité de profondeur n'est autre que la *Force*. — De deux énergies égales en quantité, la plus forte est celle qui doit le moins reculer pour se trouver concentrée en un même plan.

Considérons un bataillon carré dont les hommes seraient à une certaine distance les uns en avant des autres. — Pour que la première ligne vienne s'appuyer sur la seconde ligne, et la seconde sur la troisième, il faut que chacune de ces lignes recule.

1re ligne : . . . . . .

2e ligne : . . . . . .

3e ligne : . . . . . .

Si la distance entre la première ligne et la troisième n'est que de 2 mètres, l'énergie sera plus forte que si cette distance est de 10 mètres (1 et 2).

---

1. Une provision d'énergie ne se répartit pas seulement dans l'espace. — Elle se répartit encore dans le *temps* pour former la PUISSANCE (quantité d'énergie par unité de temps).

Et aussi dans la *Masse*. La quantité de matière par unité de volume constitue la *densité*. Et la quantité d'énergie par unité de masse se nomme le POTENTIEL.

2. Le *volume* est la capacité d'absorption de *l'espace* (p. 62), et la masse est la capacité d'absorption du travail (p. 61) du livre *Initiation à la mécanique*, par Guillaume. Paris, Hachette, 1909.

CHAPITRE IX

RÔLE DU TEMPS DANS LES TRANSFORMATIONS D'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Première section. — *Temps-époque*, p. 66. — § 1. Intensivité de l'énergie produite. Influence de l'époque des maxima respectifs des deux phénomènes, p. 66. — § 2. Influence du *temps-époque* sur la production d'une certaine espèce d'énergie plutôt que d'une autre espèce, p. 67.

Deuxième section. — *Temps-durée*, p. 69. — § 1. Puissance. Débit, p. 69. — § 2. Relation entre le débit de charge et le débit décharge d'un corps, p. 69. — § 3. Vitesse d'une particule matérielle, p. 70. — § 4. Du rythme, de la période, p. 71.

Le temps peut avoir une influence à différents points de vue sur les transformations d'énergie.

Distinguons : 1° *le temps-époque* qui règle les coïncidences entre plusieurs phénomènes, ou bien l'ordre de leur succession,

2° Et *le temps-durée* dont il faut tenir compte dans les questions d'accumulation, de sommation.

PREMIÈRE SECTION

TEMPS-ÉPOQUE

Il ne suffit pas que deux phénomènes se passent au même lieu pour qu'ils réagissent l'un sur l'autre. En novembre 1913 est survenu un affreux accident de chemin de fer en gare de Melun. Un express arrivant de Paris a broyé le train qui venait de Nice. Les voies se croisant en ce lieu, il était normal que les deux convois fussent au même point. Mais, ce qui était irrégulier, c'est qu'ils y fussent au même instant ; quelques minutes d'avance ou de retard de l'un des trains auraient suffi pour éviter l'accident ; l'énergie cinétique du premier train ne se serait pas transformée en énergie de déformation.

Pour que l'énergie passe d'une matière à une autre, il faut que les deux matières se trouvent en même temps au même lieu. — Les résultats sont tout différents selon que deux phénomènes coïncident ou ne coïncident pas dans le temps.

Ils sont également différents selon que le phénomène A coïncide avec le commencement ou la fin, avec le minimum ou le maximum du phénomène B.

§ 1. — *Intensivité de l'énergie produite. — Influence de l'époque des maxima respectifs de deux phénomènes.*

Une énergie matérialisée Prima se détruit, et libère une grande quantité d'énergie pure.

Mais le facteur *extensité* de la nouvelle énergie Secunda, qui se crée, grandit lentement ; la quantité de matière activée ne croît pas vite parce que la conductibilité est insuffisante.

Au premier instant, alors qu'il arrive du dehors une quantité d'énergie considérable par une unité de temps, le facteur *extensité* du réservoir récepteur est encore fort petit.

Dans ce cas c'est le facteur « Intensivité » qui va croître rapidement. Dans le briquet à air, si l'on opère vivement, la chaleur n'a pas le temps de se propager, l'extensité calorique reste faible. Aussi la température monte beaucoup. Cela ne dure pas longtemps parce que l'extensité grandit à son tour avec le temps ; et comme il n'arrive plus d'énergie de l'extérieur, le niveau baisse.

Si l'extensité calorique avait grandi très vite (corps très conducteur) l'expérience eût été manquée.

C'est pour cela qu'on n'enflamme facilement que les corps mauvais conducteurs et de faible masse comme le papier, les copeaux.

La température maxima atteinte dépend de la relation entre la vitesse d'arrivée de l'énergie du dehors — et la lenteur d'accroissement de la capacité.

§ 1. — *Influence du* temps-époque *sur la production d'une certaine espèce d'énergie plutôt que d'une autre espèce.*

L'énergie Prima se détruit et pourrait se transformer indifféremment en énergie d'espèce Secunda, ou bien en énergie d'espèce Tertia.

C'est souvent le moment où s'opérera la transformation qui décidera si ce sera l'énergie Secunda qui naîtra ou bien l'énergie Tertia.

A telle époque l'énergie libérée ne rencontrera pas une quantité suffisante de matière de l'espèce voulue, — et si le

niveau ne peut pas monter non plus, la plus grande partie de l'énergie libérée se perdra en d'autres matières — faute de pouvoir être absorbée à cet instant-là d'une façon utile.

Supposons une caravane privée d'eau dans le désert. Éclate un orage soudain. On dispose à la hâte quelques vases pour recueillir cette eau. Mais le niveau de l'eau dans ces vases ne peut pas croître indéfiniment; bientôt ils débordent; faute d'avoir eu des récipients suffisants, une grande partie de l'eau est absorbée par les sables. — La pluie a peu duré. Si l'on avait eu quelque délai, on aurait pu disposer de nouveaux réservoirs (1).

---

1. Soient deux variables variant séparément. Le résultat ne sera pas le même selon que l'une des variables variera la première ou bien la seconde, — qu'elle variera plus vite ou moins vite que l'autre.

Faites passer cent litres d'eau à l'heure dans un serpentin traversant une étuve chauffée d'abord à 20 degrés ; — puis, au bout d'une heure élevez la température à 60 degrés. Toute l'expérience dure deux heures. — Vous aurez recueilli finalement beaucoup moins de calories que si vous aviez chauffé dès la première minute à 60 degrés (fig. 9).

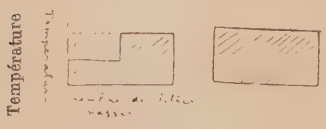


Fig. 9

Nombre de litres passés au besoin, dans le réservoir, du gaz nouveau

Autre exemple. — Faisons varier simultanément la pression et le volume d'un gaz (en comprimant que l'on ajoute à la première masse).

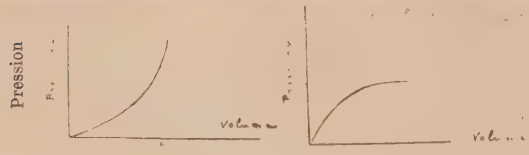


Fig. 10 Fig. 11

1° Si la pression augmente plus vite que le volume, nous produirons surtout de la chaleur sensible (fig. 10).

2° Si le volume augmente plus vite que la pression, nous produirons surtout de l'énergie mécanique (fig. 11).

SECTION II

Temps-Durée

§ 1. — *Puissance. — Débit*

Il se trouve que les provisions d'énergie ne sont pas toujours instantanément disponibles. Certaines résistances font qu'on ne reçoit cette énergie que peu à peu.

L'énergie totale divisée par le temps prend le nom de *puissance*, c'est la quantité d'énergie qui pourrait s'accumuler dans un réservoir pendant une durée prise comme unité de temps.

On nomme *débit d'énergie* la quantité d'énergie qui passe en un point par unité de temps. C'est une *puissance*.

On peut aussi parler de débit d'extensité, débit de matière. Nous retrouverons plus loin ces distinctions (chap. XIV, sect. III, p. 108).

§ 2. — *Relation entre le débit de charge et le débit de décharge d'un corps*

Il est rare dans la nature que l'énergie reste immobile. Un fleuve, dont le niveau est invariable, et dont la capacité est toujours la même, n'a pas, pour cela, ses eaux immobiles.

C'est ainsi, encore, qu'un thermomètre, dont la température ne varie pas, peut être traversé pourtant par un grand courant de chaleur (1).

1. Dans une chambre chauffée à température constante, il existe un courant de chaleur qui va de la cheminée à la fenêtre.

A. — Il entre 10 litres d'eau par minute dans un réservoir; mais il en sort également 10 litres par minute. Le niveau, l'intensivité statique, n'a aucune raison pour varier (1).

B. — Mais il peut arriver que le courant d'entrée débite plus d'énergie que le courant de sortie. Alors il y a *accumulation* d'énergie dans le réservoir : l'*extensité* ne variant pas c'est le niveau qui monte. Le flux n'est pas conservatif dans ce cas (2).

C. — *Exemple inverse.* — Le courant de sortie débite plus que le courant d'entrée ; le niveau baisse dans le réservoir. C'est ainsi qu'une masse de gaz peut se refroidir, alors même qu'on la chauffe, si, dans le même temps, on accroît trop vite son volume.

§ 3. — *Vitesse d'une particule matérielle*

Nous reviendrons plus loin sur cette mystérieuse combinaison d'un chemin parcouru avec une durée de temps, qui constitue la vitesse (3).

La vitesse joue un rôle important dans les questions rela-

---

1. Les physiciens emploient l'expression suivante : quand l'intensivité ne varie pas ils disent que « le flux est *conservatif* ». Voir Bouasse, *Cours de Mécanique Rationnelle*, p. 48. Paris, Delagrave.

2. Le *flux* est une notion particulière distincte de la notion de courant. Voir chapitre XV : « Courant de régime et courant varié. »

3. Dans le mouvement uniforme, la vitesse est le chemin parcouru durant l'unité de temps.

Dans le mouvement varié, la vitesse est le chemin qui serait parcouru dans l'unité de temps si le mouvement devenait uniforme à l'instant considéré.

tives à l'énergie cinétique. Elle entre dans la formule de la *force vive* ($1/2\ m.\ V^2$), et dans celle de la *quantité de mouvement* ($m\ V$).

§ 4. — *Du rythme. — De la période*

L'existence du temps rend aussi possible la suppression de certains phénomènes en un point, puis leur réapparition postérieure au même point.

Si nous supposons placé en ce point un récepteur doué d'une faculté analogue à la mémoire, la deuxième excitation ne produira pas le même effet que si elle n'avait pas été précédée d'une autre.

Dans le développement du phénomène, la durée du repos devient aussi importante que la durée de l'excitation. Un courant interrompu produit des effets très différents de ceux d'un courant continu.

C'est la durée de chacune des phases qui rend possible ou non la *résonance* et l'accumulation d'énergie dans le récepteur (1).

---

1. Voir chapitre XIV : « Des différents modes de transport de l'énergie. — Énergie vibratoire », p. 113.

CHAPITRE X

DU CHANGEMENT ET DU COURANT

§ 1

Il se produit des changements dans le monde. Un corps, qui était lumineux, chaud ou bien électrisé, devient obscur, froid ou bien neutre électriquement.

On peut admettre que les changements ne sont que des effets dus à l'action des énergies qui se déplacent et viennent imprégner des corps jusque-là inactivés.

L'image la plus claire, la moins fatigante pour l'esprit, qui ait été inventée pour représenter tous les changements, est le symbole du *mouvement*.

Il est facile de se figurer un corps partant de la position A pour se trouver ensuite dans la position B. — Le calorique, lui aussi, peut bien être considéré comme une sorte de mobile, qui quitterait un point A pour se rendre à un point B.

Nous disons alors qu'un COURANT de quelque chose s'établit entre le point A et le point B.

Le *courant* est caractérisé : 1° par l'espace : (le corps considéré était en A. Il est maintenant en B) ; — 2° il est caractérisé, en outre, par la durée de temps qui a été nécessaire pour aller de A en B.

§ 2

L'absence de changement dans le monde peut être due à l'absence d'énergie. Une bille reste immobile lorsque, étant immobile à l'origine, aucune force ne la pousse actuellement ni dans un sens ni dans l'autre.

Mais l'absence de changement peut aussi être la conséquence de deux actions égales en sens inverse. Si, me trouvant pris entre deux lutteurs d'égale force, je me laisse aller sans résistance, il en résulte que je ne bouge pas.

C'est ce qu'on exprime en disant qu'une *différence de potentiel* est nécessaire pour qu'un changement ait lieu, pour qu'un courant d'énergie prenne naissance. Nous retrouverons plus loin ces questions (1).

§ 3

A. — Il y a des courants de simple passage ou de transformation simplement *interne*. Après, comme avant la transformation, nous avons la même énergie, par exemple de

1. Les courants qui exigent une différence de potentiel pour naître, ce sont les courants *automobiles*, ceux qui dépensent leur propre énergie pour s'entretenir.

Mais une différence de potentiel n'est nullement nécessaire dans le cas des courants *hétéromobiles*. — Par exemple, on fait (au moyen d'une pompe rotative) circuler de l'eau chaude entre le point A et le point B voisin. Il n'est nullement nécessaire, pour que le courant de chaleur ait lieu, que le point B soit à une température plus basse que le point A. Ici, ce n'est pas l'énergie calorique qui est la cause de la circulation.

C'est ainsi que, dans nos veines, le sang se rend de la peau à 20 degrés, par exemple, à des organes profonds à 38 degrés.

l'énergie calorique. Mais le facteur intensivité a diminué, tandis que le facteur extensité a augmenté. Au point de départ, dans les tuyaux de mon calorifère à eau chaude, les calories sont par exemple à 50 degrés.

Au point d'arrivée du courant, dans l'air de l'appartement, les calories sont à 18 degrés.

B. — Il existe ensuite des courants de transformation *externe*.

L'énergie change de nom. L'intensivité de l'énergie inductante subit une chute dans un courant primaire. Mais il naît un courant d'une deuxième énergie (inductée).

L'énergie électrique de tel accumulateur s'épuise ; mais il naît un courant d'énergie calorique qui charge de plus en plus de chaleur les résistances spécialement disposées.

CHAPITRE XI

DU FLUX ET DU COURANT

Le *flux* est une notion particulière, distincte de la notion de *courant*.

A. — Il peut y avoir *flux* sans qu'il y ait courant. Entre les deux extrémités des fils d'une pile, séparés par une couche d'air, il y a différence de potentiel, donc il y a flux ; mais il n'y a pas de courant. Les résistances qui empêchent le courant n'ont aucune action sur le flux.

B. — Il peut y avoir courant sans qu'il y ait flux. Ceci a lieu par exemple, dans un courant hétéromobile, alors qu'il n'y a pas de différence de potentiel entre deux points du circuit. — On transporte à la main une sphère électrisée ou bien un corps chaud, une pompe rotative fait circuler de l'eau dans un canal horizontal annulaire ; dans ce dernier cas par exemple il n'y a pas de différence de niveau, donc pas de flux de pesanteur.

Le flux entre deux points dépend de la *différence de niveau*, de potentiel *par mètre* entre ces deux points.

Si cette *différence par mètre* ne varie pas, on dit que le flux est conservatif — que la *divergence* du flux est nulle, c'est-à-dire que la variation de la différence de niveau par unité de distance est nulle (1).

---

1. La notion mathématique de flux est celle-ci :

$$\text{Flux} = H\, d\, S \cos \alpha$$

Le flux est un volume constitué par deux facteurs : 1° un vecteur, c'est-à-dire une ligne dont la longueur mesure une différence de niveau par unité de chemin, une pente par mètre entre deux points.

$$H = \frac{d\,\varphi}{dx}$$

2° Une base formée par une surface supposée perpendiculaire au vecteur ($d\,S \cos \alpha$).

Ce qui nous intéresse ici, c'est le vecteur et sa *divergence*, c'est-à-dire sa variation avec la distance depuis le point de départ.

Par exemple, si durant le premier kilomètre d'une route, la pente est de 2 centimètres par mètre, et si durant le deuxième kilomètre cette pente est de 50 centimètres par mètre — si dans le premier décimètre d'une tige chauffée, la chute de température est de 15 degrés, et dans le deuxième décimètre la chute est de 50 degrés — la *divergence* du vecteur ne sera pas nulle.

CHAPITRE XII

FORME CINÉTIQUE DE L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Section I. — Effet produit par une énergie selon qu'elle est immobile ou bien en mouvement, p. 77.

Section II. — Possibilité du mouvement malgré l'égalité de l'action et de la réaction, p. 78.

Section III. — Conditions de naissance du courant d'énergie. Différence de potentiel, et liaisons faisant obstacles au démarrage, p. 81.

Section IV. — Facteurs de l'énergie cinétique, p. 83.

Section V. — Forme cinétique de l'énergie calorique, p. 84. — § 1. Facteurs de l'énergie calorique. — Ce que l'on doit entendre par l'expression vitesse du courant calorique, p. 84. — § 2. Effets différents de la chaleur dynamique et de la chaleur statique, p. 87.

PREMIÈRE SECTION

Effet produit par une énergie selon qu'elle est immobile ou bien en mouvement

Appelons *efficacité d'une énergie*, le pouvoir de produire un changement dans le monde.

Nous sommes frappés de la différence d'efficacité d'une

même quantité d'énergie : 1° lorsqu'elle est immobile ; 2° lorsqu'elle est en mouvement.

Première expérience : Prenons une planche d'un mètre de long appuyée à ses deux extrémités.—Posons sur elle en son milieu un poids de 1 kilogramme, la planche ne plie pas.

Deuxième expérience : Mais laissons tomber ce même poids d'une hauteur de deux mètres sur le milieu de la planche, elle sera brisée.

Et pourtant, en vertu du principe de conservation de l'énergie, il n'y a pas plus d'énergie dans le poids, dans le second cas que dans le premier.

SECTION II

Possibilité du mouvement malgré l'égalité de l'action et de la réaction

Pour concevoir la raison de la différence signalée dans la précédente section, il faut se rappeler que, — lorsqu'on parle d'efficacité, — il ne peut pas être question d'une énergie *isolée*, mais bien de *deux* énergies, qui sont *opposées* l'une à l'autre. L'énergie Prima sera efficace lorsqu'elle forcera l'énergie Secunda à reculer.

Ici, l'une des deux énergies en lutte (celle de la planche) présente ceci de particulier, qu'elle n'a rien d'agressif, qu'elle se tient purement sur la défensive, et ne se développe que dans la mesure où cela est nécessaire pour empêcher le changement, la déformation que l'on voudrait produire (1).

1. On peut dire qu'une partie de l'énergie a quitté la matière assaillante, pour se transporter dans la matière de l'obstacle résistant.

La notion de résistance se confond donc avec la notion de

De ce mode de développement de l'énergie de résistance, il résulte que la réaction doit *finalement* toujours être égale à l'action.

Mais alors, dira-t-on, comment un corps pourra-t-il jamais se mettre en mouvement? Pris entre deux énergies motrices directement opposées et qui sont égales en grandeur, il restera éternellement immobile. Notre planche n'aura aucune raison pour plier et se rompre sous le choc. — Si deux athlètes d'égale vigueur me poussent en sens inverse je ne bougerai pas.

Il faut faire intervenir ici des notions nouvelles, en posant ce principe que deux énergies égales ne sont pas toujours d'égale efficacité (1).

---

diffusion de l'énergie à une quantité de matière de plus en plus grande.

A ce point de vue, comment concevrons-nous la résistance à l'énergie calorique? — Tout simplement dans la diffusion de l'énergie colorique qui tendrait à élever à une trop haute intensivité, à une trop haute température le point de l'obstacle attaqué. Cet obstacle sera dit d'autant plus *résistant* qu'il sera plus conducteur, c'est-à-dire qu'il énervera plus vite l'énergie assaillante, la rendra plus incapable de produire des effets locaux, des perturbations.

Un morceau de métal est plus résistant à l'inflammation qu'un copeau de bois.

1. « L'action égale la réaction ». C'est vrai, mais il faut s'entendre. Cette égalité n'a lieu que finalement, après un certain temps ; et pendant toute la durée de ce délai, la réaction n'égale pas encore l'action — singulière influence du temps, qui rend ainsi possibles des effets irréparables. — Un obus frappe un navire ; un instant après, cet obus gît immobile dans les flancs du cuirassé. Maintenant la réaction égale l'action. Mais il est trop tard ; pendant l'instant où cette réaction a été trop faible, un changement irréparable s'est accompli et le navire coule.

Un fer rouge est appliqué sur notre peau. Si nos cellules pou-

L'efficacité est en soi, une chose toute locale. Ce qui décide la victoire à tel jour, ce sont les troupes que le général a sous la main au bon moment et au bon endroit. Pour cette bataille, peu importe les corps d'armées qu'il pourrait faire venir dans huit jours, ceux qui sont à 300 kilomètres en arrière, ou bien à 50 lieues à droite ou à gauche sur le front.

La nation Prima peut mobiliser 500.000 hommes, mais il lui faut deux mois pour cela. Elle sera battue par la nation Secunda qui n'a que 100.000 hommes disponibles mais les mobilise en huit jours.

Une provision donnée d'énergie se répartit en surface, en profondeur, et en durée de temps. Moins elle sera éparpillée en surface, ou en profondeur, plus court sera le temps nécessaire pour sa concentration en un point, — plus notre énergie aura chance d'être efficace. Notre planche aurait en elle tous les éléments nécessaires pour résister au choc ; mais le projectile, qui l'attaque, ne lui laisse pas le temps de rassembler ses forces.

Revenons à notre question du début : « Comment un corps peut-il se mettre en mouvement malgré l'égalité de l'action et de la réaction ? » Cela tient uniquement à ce que l'énergie de réaction est autrement *répartie* dans *le temps* que l'énergie assaillante. La réaction est paresseuse et arrive en retard. Finalement elle équilibre bien l'action, mais il est trop

---

vaient le supporter quelques heures, l'énergie calorique perdrait par diffusion sa température excessive. — Malheureusement cette réaction est tardive, et pendant ce temps nos tissus sont carbonisés.

tard (1). L'irréparable est accompli ; le corps saisi, à un moment donné, entre une grande énergie et une faible résistance, a pris un *mouvement*, — qu'il conserve, même après que les deux énergies inverses, qui agissaient sur ce corps, sont devenues égales.

Toute l'énergie, qui a passé dans le corps en mouvement (énergie de vitesse acquise, énergie cinétique), ne compte plus dans l'énergie assaillante. Et c'est autant de moins que la réaction aura à fournir pour égaler l'action.

La réaction sera donc d'autant moins forte que l'attaque aura été plus *brusquée*, que l'avance de l'action sur cette réaction, dans le temps, aura été plus grande, et que, par conséquent, la vitesse acquise aura pu être plus grande avant l'arrivée de la résistance.

SECTION III

Conditions de naissance du courant d'énergie. — Différence de potentiel et liaisons faisant obstacle au démarrage.

Lorsqu'on me pousse, je puis m'arc-bouter contre une porte fermée et le mouvement ne naît pas. Mais, si l'on ouvre la serrure, il faut, pour conserver l'immobilité, qu'une autre personne pousse le porte en sens inverse avec une égale énergie.

Si le second lutteur est moins efficace que le premier, on

---

1. Le changement dans le monde n'est possible que par des *coups de surprise*.

dit qu'il y a une *différence de potentiel* entre les causes des deux mouvements en sens inverse.

En résumé, il a beau exister une différence de potentiel, — si la porte est fermée à clef, le courant ne naît pas.

D'autre part, la porte peut être ouverte, — s'il n'y a pas de différence de potentiel, le courant est impossible.

Le tour de clef qui empêche le démarrage est une liaison (1).

Entre les extrémités de deux fils reliés aux pôles d'une pile électrique, il y a bien une différence de potentiel. Mais si ces extrémités sont séparées par une couche d'air, le courant électrique ne commence pas.

Entre deux corps dont l'un est à la température de 100 degrés et l'autre à 0 degré, il y a bien une différence de potentiel. Mais si l'on enferme le corps à 100 degrés dans un vase de Dewar, le courant thermique ne prend pas naissance.

Un mobile prendra d'autant plus d'énergie cinétique que l'obstacle au démarrage cédera plus brusquement, que le corps se mettra en mouvement dans un temps moindre, et que la résistance sera, au contraire, plus lente à grandir.

---

1. L'énergie nécessaire pour ouvrir la serrure est une *énergie de déclic*. On lui comparera l'énergie qui serait nécessaire pour brûler le fil qui suspend un poids au plafond d'une salle, — ou l'énergie nécessaire pour enflammer une amorce de fulminate jointe à la gargousse de poudre à l'intérieur d'un canon.

L'importance de cette énergie de rupture de liaison est sans rapport avec la grandeur des effets de l'énergie cinétique qu'elle rend possible.

Il ne faut pas plus d'énergie pour enflammer l'amorce qui doit faire sauter une poudrière, que pour celle qui doit faire partir un simple pétard.

Une grande différence de potentiel est une condition favorable.

SECTION IV

Facteurs de l'énergie cinétique

L'énergie cinétique, ou énergie de vitesse acquise, peut être considérée — à l'exemple de l'énergie immobile — comme un produit de deux facteurs.

Mais ici le facteur *intensivité* est de l'ordre des vitesses et non plus de l'ordre des hauteurs

Quant au facteur *extensité*, il est représenté par la masse (1).

Une même quantité d'énergie totale (de vitesse acquise) peut être constituée : 1° par une grande intensivité (grande vitesse) — avec une faible extensité (faible masse); — 2° ou bien, au contraire, par une grosse masse animée d'une faible vitesse.

Nous verrons, en étudiant l'efficacité, que l'énergie de vitesse acquise peut être considérée sous deux aspects : 1° celui de la *quantité de mouvement* (m V); — 2° et celui de la *force vive* ($1/2\ m\ V^2$).

---

1. Cette conception de l'extensité cinétique est suffisante dans le cas d'un corps isolé en mouvement. — Mais lorsqu'il s'agit d'une succession de corps qui se suivent en file, par exemple d'un jet liquide, l'extensité sera représentée par la quantité de matière qui passe par unité de temps, par le *débit de matière*.

SECTION V

Forme cinétique de l'énergie calorique

Pour l'énergie calorique, l'action égale la réaction lorsque deux corps sont à la même température (1).

La liaison empêchant le démarrage du courant, malgré la différence de température entre deux sources, est constituée par l'interposition d'un corps isolant, par exemple de l'air emprisonné entre les fibres d'une couche de ouate ou de laine.

§ 1. — *Facteurs de l'énergie calorique. — Ce qu'on doit entendre par l'expression « Vitesse du courant calorique ».*

Le facteur extensité d'un courant de chaleur est représenté par le nombre de particules de calorique, de calorons qui passent par unité de temps. Ceci est vrai, au moins pour les courants de convection.

Quant au facteur intensivité ou vitesse, il y a quelque difficulté à le concevoir pour l'énergie calorique.

L'énergie calorique peut se mouvoir tout comme un mobile matériel. L'ébranlement calorique qui se trouve au point A à l'instant 1, peut se trouver au point B à l'instant 2.

1. L'action et la réaction sont encore égales dans le cas du *courant de régime*. Voir plus loin.

En divisant le chemin parcouru par le temps nécessaire pour ce parcours, on obtiendra une certaine vitesse.

Évidemment la notion de vitesse est moins nette pour la chaleur que pour un corps matériel isolé, dont on étudie le mouvement. — La difficulté vient de ce qu'on ne peut pas suivre dans sa marche une certaine quantité bien individualisée de matière. Cette difficulté n'est du reste pas plus grande pour la chaleur que pour un courant d'eau dont on voudrait juger la vitesse sans qu'aucun objet flottât à sa surface (1).

---

1. Il ne faudrait pas confondre cette vitesse du courant (vitesse d'une particule d'eau) avec le DÉBIT. — Le DÉBIT c'est la quantité de matière qui passe (en face d'un certain point fixe du canal) par unité du temps ; — par exemple telle canalisation débite 1.000 litres d'eau par minute. — Ceci ne donne aucun renseignement sur la vitesse proprement dite. Si le canal est très large, la vitesse de chaque particule peut être très faible, et néanmoins le débit sera considérable.

Un cours d'eau qui a pour largeur 1 mètre et pour rapidité d'une molécule 100 mètres à la minute, débite autant d'eau qu'un fleuve qui a pour largeur 100 mètres et pour vitesse d'une particule d'eau seulement 1 mètre à la minute ; — les deux cours d'eau ayant même profondeur.

Un même courant de chaleur peut débiter cent volumes de calorique à la minute avec une section de 1 mètre carré et une vitesse de 100, — ou bien avec une section de 100 mètres carrés et une vitesse de un).

D'autre part, on pourrait calculer le débit par unité de surface (perpendiculaire au courant), noter le nombre de litres d'eau qui passent par mètre carré de section et par minute. Ceci permettrait de comparer les vitesses des molécules dans deux cours d'eau d'inégale largeur.

Une seule circonstance pourrait troubler le calcul, c'est que la densité de matière ne soit pas la même dans un courant que dans l'autre. Ainsi soit un courant *Primum* de gaz qui débite 20 litres à la minute par centimètre carré de section, — et un autre courant *Secundum* débitant également 20 litres de gaz par centimètre carré et par minute, — mais dans le courant *Secundum* le gaz est

Article 2

On pourrait encore chercher avec quelle vitesse se transporte une variation de température. Je chauffe une barre de fer. Je note à quel moment le thermomètre (placé dans une cavité au point A de la barre) atteint la température de 25 degrés, puis je note combien de temps il faut attendre ensuite pour que le thermomètre placé en B atteigne la température de 25 degrés (fig. 12).

Fig. 12

Mais ces vitesses en régime variable ne donneraient aucune indication sur la vitesse d'une particule de calorique en régime régulier.— Nous verrons, au chapitre XV (Courants de régime et courant varié), que les capacités des conducteurs ont une grande influence en cas de régime varié. Ces capacités se trouvent du reste beaucoup augmentées par suite des fuites de chaleur dans l'air par convection et par rayonnement (1).

à une pression triple de la pression du courant *Primum*. Donc, malgré l'égalité de débit en volume, la vitesse d'écoulement des particules n'est pas la même dans les deux gaz.

On pourrait se poser la question suivante : une quantité de calorique peut-elle se comprimer comme un gaz, — ou bien la matière calorique a-t-elle toujours sensiblement la même densité.

1. Au reste, cette question de vitesse des particules caloriques n'est pas celle qui est étudiée en général.

Ce n'est pas une question de dynamique. C'est un problème de statique, que Fourier se posait, lorsqu'il cherchait à calculer la distribution des températures à l'intérieur d'un mur. — Il s'occupait incidemment du *débit de calories*, mais nullement de la vitesse proprement dite.

§ 2. — *Effets différents de la chaleur dynamique et de la chaleur statique*

Il est important de remarquer que nous ne nous plaçons pas ici au point de vue de la théorie cinétique de la chaleur, qui voit un mouvement même dans le cas d'une quantité de chaleur immobilisée dans un corps isolé. Ce mouvement-là est totalement incoordonné.

Nous voulons parler, au contraire, d'un mouvement d'ensemble, d'une certaine quantité d'énergie calorique, c'est-à-dire d'un courant de chaleur.

Un courant de chaleur a-t-il des effets que n'aurait pas la même quantité d'énergie calorique immobile?

Le fait paraît certain lorsque le courant n'est pas un *courant de régime*, mais un *courant varié*.

L'organisme s'accommode assez bien d'une température constante ou du moins de variations très lentes de température, — tandis que des variations brusques le troublent profondément.

Même sur les corps inorganiques, les changements brusques ont des effets destructeurs que n'aurait pas un climat constant. Les alternatives de gel et de dégel délitent les roches, la trempe change la contexture des métaux.

La chaleur statique produit des effets qu'on pourrait appeler *catalytiques* puisque cette chaleur agit par sa seule présence et ne s'use pas en produisant ces effets.

La chaleur statique est un ébranlement capable de rompre certaines liaisons, qui s'opposaient à des réactions chimiques, et de supprimer certains frottements.

On peut se représenter cette influence par une comparaison.

Nous voulons tracer un spectre magnétique avec de la limaille de fer. Nous plaçons un carton sur un aimant et nous le saupoudrons de limaille. — Le dessin est confus parce que le frottement empêche la limaille de glisser jusqu'aux points déterminés par les lignes de force.

Mais donnez quelques légers chocs avec le doigt, la liaison sera rompue et les grains de limaille viendront se ranger en bonne position.

Il est probable que l'agitation thermique rend le même service que ces petits chocs pour certains changements.

CHAPITRE XIII

DE L'EFFICACITÉ DE L'ÉNERGIE ET DE SES CONDITIONS

Effets locaux. — Effets généraux

SOMMAIRE

Première section. — Rôle de la résistance, p. 89.
Section II. — Influence de la forme d'énergie cinétique du corps assaillant, p. 92.
Section III. — Application à l'énergie calorique des remarques précédentes, p. 95.

L'énergie cinétique peut avoir deux effets très différents au point de vue utilitaire :

1° Ou bien un effet général : le déplacement en masse du corps qu'elle aborde ;

2° Ou bien un effet local et brisant : le déplacement d'un certain nombre de particules par rapport au reste du corps.

PREMIÈRE SECTION

Role de la résistance

L'efficacité, la force d'un corps en mouvement, sont des

expressions dénuées de sens tant qu'on ne considère que le corps lui-même (1 et 2).

Le rôle de la résistance est ici décisif. Si elle recule beaucoup, le corps assaillant aura très peu de force locale (parce qu'il dépensera son énergie sur un trop long chemin) (3).

Si la résistance recule peu et lentement, la force développée sera considérable et l'effet sera brisant (4).

---

1. On retrouve partout la dualité de la graine et du terrain.

2. « Il est impossible de dire quelle est la force produite par le choc d'un corps, quoique connaissant sa masse et sa vitesse ; cette force dépend des conditions de résistance entre le corps choqué et le corps choquant. Si un de ces corps au moins est relativement facilement déformable, le chemin parcouru par le mobile pendant le choc sera grand et l'effort exercé faible. — Ce même mobile rencontrant un corps plus rigide, l'effort sera plus grand et le chemin parcouru plus petit. — Il en résulte cette remarque, au premier abord paradoxale, que lorsqu'un corps choquant a heurté un obstacle, l'étendue du dégât constatée après le choc est d'autant plus grande que l'effort exercé au contact des deux corps a été plus petit » (*Précis de Physique biologique*, de M. le professeur Weiss. Paris, Masson, édition, 1905, p. 39). Cela se conçoit. L'effort est d'autant plus petit que le corps résistant est moins fort.

Pour mesurer une force on peut l'opposer à la force de la pesanteur au moyen de la balance. Laissons tomber un poids d'une certaine hauteur dans le plateau d'une balance (fig. 13) On appréciera l'effort exercé par le poids qu'il faut mettre dans l'autre plateau pour l'empêcher de se soulever.

Fig. 13

M. Bouasse (*Mécanique rationnelle*, p. 447, et *Introduction à l'étude des théories de la mécanique*, p. 203) dispose ainsi l'expérience. Il rattache le poids au plateau de la balance par un fil et laisse tomber le poids d'une certaine hauteur. Si le fil est constitué par une matière élastique (caoutchouc), le poids semble moins lourd, la force est moins grande au moment du choc que si le fil est inextensible.

3. Voir chapitre VIII : « Rôle de l'espace dans la répartition de l'énergie », p. 63.

4. Si le sauteur « tombe sur un terrain dur, il devra absorber le

Mais si le corps choqué ne reculait pas du tout, comme l'énergie cinétique de l'assaillant ne peut pas disparaître sans compensation, il faudrait ou bien que cette énergie se transformât en chaleur ou que la vitesse se conservât en changeant de sens par le rebondissement du corps, ou bien qu'il y eut des modifications dans les énergies de cohésion (déformations permanentes).

« Lorsqu'un projectile animé d'une énergie totale E, attaque une plaque de blindage, cette énergie se dépense d'abord sur la plaque, en la perforant, sur le projectile en le brisant ou le déformant, et le reliquat, s'il y a lieu, consiste en une force vive dont restent animés le projectile ou ses débris (1). »

$$\begin{pmatrix}\text{Énergie}\\ \text{totale}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Énergie dépensée}\\ \text{sur la plaque}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Énergie dépensée}\\ \text{sur le projectile}\end{pmatrix} + \begin{pmatrix}\text{Force vive}\\ \text{restante}\end{pmatrix}$$

L'énergie se dépensera sur celui des deux corps en lutte qui se déformera. Pour que l'énergie ne se dépense pas sur

travail dans ses muscles, par un fléchissement des genoux et de toutes les parties articulées de son corps. Faute de savoir le faire, il produira sur un chemin très court de grands efforts susceptibles de lui rompre les os...

« La science de l'emballeur est très grande. Il faut qu'il épargne autant que possible les efforts aux objets fragiles qu'il prépare à voyager... Lorsqu'une caisse tombe lourdement sur un quai, les objets qu'elle contient emmagasinent du travail et prennent de la vitesse. Ils perdent cette dernière en restituant leur travail ; mais pour éviter les efforts trop grands, il faut que le travail soit récupéré sur un chemin suffisamment long. C'est l'élasticité des copeaux qui en est chargée. (Guillaume, *Initiation à la mécanique*. Paris, Hachette, 1909. Voir également *le Précis de Physique biologique*, de M. le professeur Weiss. Paris, Masson, édition 1905, p. 38 et 39).

1. Commandant Vallier, *Cuirassés et projectiles de marine*. Encyclopédie Léauté. Paris, Gauthier Villars, p. 63.

l'obus, on donne une trempe spéciale à sa pointe (Vallier, p. 63).

D'autre part, pour que la plaque de blindage n'absorbe pas d'énergie, on cherche à la rendre indéformable en augmentant la proportion de carbone dans la couche superficielle de l'acier (procédé Harvey — p. 98 et 106, Vallier, *Cuirassé*...). Avec ces plaques, la dépense se faisait uniquement sur le projectile qui était brisé, la cuirasse restant indemne.

SECTION II

Influence de la forme d'énergie cinétique du corps assaillant

De deux projectiles qui ont la même énergie cinétique, quel sera le plus efficace ?

Il y a d'abord une règle générale au point de vue de la transmission de l'énergie d'un corps à l'autre.

Lorsque deux corps vont dans le même sens en se poursuivant, l'énergie s'écoule (sous forme de courant) du corps qui a la plus grande vitesse (1) vers celui qui a la plus petite vitesse.

Si le corps récepteur restait toujours immobile (au zéro absolu de mouvement), il absorberait toujours la totalité de l'énergie de l'assaillant, peu importe que cette énergie soit due surtout à l'importance du facteur masse, ou bien à la grandeur de la vitesse (2).

1. Comparer ceci à l'écoulement qui va du niveau le plus haut vers le niveau le plus bas.

2. On peut dire que, dans ce cas, la *quantité de mouvement* (c'est-à-dire le produit de la masse par la vitesse) est la seule chose intéressante à considérer.

Il n'en va plus de même si le récepteur est, ou se met en mouvement.

Si, dès le début, le corps poursuivi possède une vitesse supérieure ou simplement égale à celle du corps poursuivant, — il n'y a pas de transmission d'énergie d'un corps à l'autre, il n'y a plus de changement produit dans le second corps ; le premier corps a une énergie non efficace.

Dans les descentes, le cheval ne fournit aucune énergie à la voiture, qui aurait plutôt tendance à aller plus vite que lui.

Supposons maintenant que le corps poursuivant ait une vitesse supérieure à celle du corps poursuivi, il faut sous-distinguer, — selon qu'on désire obtenir une *efficacité locale* ou bien une *efficacité générale*.

1° Si l'on veut avoir une efficacité LOCALE, il faut que la vitesse du corps assaillant soit beaucoup plus grande que celle du corps résistant. Pour cela, il faut qu'au moment du choc le corps résistant ne prenne pas de vitesse d'ensemble sensible ; il faut donc que ce dernier ait une très grande masse.

Au contraire, il est désirable que le corps assaillant ait une très petite masse, une très petite inertie (A), afin que presque toute son énergie cinétique soit due au facteur vitesse (B), afin qu'il puisse céder très vite toute cette énergie (1 et 2).

En pareil cas il n'est pas suffisant d'avoir *une quantité*

---

1. Un boulet de canon déplace l'air en masse, — un corpuscule cathodique doué d'une vitesse infiniment plus grande, brise la molécule d'air et la transforme en ion.

2. Voyons comment la vitesse et la *quantité de mouvement*

de mouvement importante, il faut avoir une *grande force vive*, c'est-à-dire une grande vitesse.

Empruntons à M. Guillaume deux exemples (1) : celui du cuirassé dont la vitesse reste toujours infiniment inférieure à celle de l'obus qu'il reçoit — et au contraire l'exemple du jeu de golf dans lequel la balle prenant rapidement une vitesse bien supérieure à celle du « club » ne peut absorber qu'une faible fraction de l'énergie de celui-ci.

2° Si l'on veut réaliser une *efficacité générale*, il faut que

---

(cette dernière caractérisée par sa masse) peuvent se remplacer dans la composition d'une énergie de mouvement.

Soient deux corps d'énergie cinétique égale.

$M V^2 = 100.$

$m v^2 = 100.$

Premier cas. — Supposons la quantité de mouvement maxima

$$M V = 100.$$

Pour que l'énergie cinétique soit = 100 seulement, il faut que le facteur vitesse soit minimum :

$$V = 1.$$

la masse étant

$$M = 100.$$

Deuxième cas. — Maintenant, si la quantité de mouvement était minima, au contraire

$$(m v) = 10$$

Il faudrait que le facteur vitesse fût maximum :

$$v = 10$$

la masse étant

$$m = 1.$$

En face d'une résistance donnée, le corps qui cédera la plus forte proportion de son énergie, sera celui qui aura la plus petite masse, et la plus grande vitesse (pour une même énergie cinétique).

Néanmoins, ce ne sera pas le corps le plus avantageux si l'on veut produire des effets de déplacement d'ensemble et non brisants.

1. Guillaume, *Initiation à la mécanique*. Paris, Hachette, 1909, p. 163 et 166.

la vitesse du corps assaillant soit un peu supérieure à celle du corps poursuivi, mais pas beaucoup.

Il est utile dans ce cas d'augmenter la quantité de mouvement (pour une même quantité d'énergie cinétique), c'est-à-dire d'accroître la masse jusqu'à la rendre comparable à la masse du corps poursuivi.

Un navire heurtant un autre navire de même tonnage et à faible vitesse produira un déplacement d'ensemble.

SECTION III

Application a l'énergie calorique des remarques précédentes

Comme pour l'énergie mécanique les effets de l'énergie calorique dépendront à la fois de la nature de l'énergie assaillante et de la nature de la résistance.

Si le courant de sortie calorique est très intense, l'effort ne deviendra jamais grand.

Mécaniquement le choc consiste en une élévation de pression considérable en un certain plan, résultant de ce que l'afflux de matière vers ce plan est considérable, tandis que le courant qui écarte la matière loin dudit plan est très faible.

Cette élévation de pression (énergie par unité de surface) prend le nom d'effort. Elle est due à ce que toute la provision d'énergie se trouve comme aplatie en une couche très mince. La profondeur de cette couche étant très petite, la force est grande.

Thermiquement le choc consiste en une élévation de température considérable en un certain plan, résultant de ce que

l'afflux de matière calorique vers ce plan est considérable, alors que le courant de sortie est très faible. Il y a comme une variation de densité.

Un corps à faible conductibilité calorifique est comparable au corps mécanique qui ne recule pas.

Du reste, le courant de sortie ne se fait pas toujours sous forme calorique ; le défaut de conductibilité thermique peut être compensé par une transformation en énergie mécanique ; les corps chauffés se dilatent en général.

Prenez un tube en verre épais et chauffez-le en un seul point, mais très lentement, de façon à éviter tout choc thermique.

Le courant de sortie aura le temps de s'installer ; notamment la dilatation due à la chaleur aura le temps de gagner des points très éloignés du point considéré avant que la température ait pu s'élever notablement au point originaire.

Le tube ne se brisera pas, il n'y aura pas d'effet local. — Il y aura simplement un effet général, la dilatation de l'ensemble du tube.

Pour produire des effets généraux, le courant d'arrivée de chaleur doit avoir une grande *quantité de mouvement* (une grande masse) et une faible vitesse.

Pour produire des effets locaux à énergie cinétique calorique égale, il faut une petite quantité de mouvement et une grande vitesse.

Chauffez vivement le tube de verre, la résistance n'aura pas le temps de s'organiser au loin, la dilatation sera forte et localisée. Le tube surpris se brisera.

Si la résistance était rapidement mobilisable, comme dans

un tube de métal, elle se généraliserait ; l'effet serait général et non plus local.

L'organisme animal est assez mauvais conducteur de la chaleur. Aussi les effets du courant de chaleur sur lui peuvent être locaux et destructeurs, si ces courants ont une intensivité suffisante.

CHAPITRE XIV

DES DIFFÉRENTS MODES DE TRANSPORTS DE L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Première section, p. 98.
Section II. — Facteurs de l'énergie dans les deux cas (convection ou courant vibratoire), p. 101. — § 1. Courant de convection, p. 101. — § 2. Courant vibratoire, p. 103.
Section III. — Comparaison des deux modes de transport au point de vue du débit. — Débit de matière. — Débit d'énergie, p. 107. — § 1. Courant de convection, p. 107. — § 2. Courant vibratoire, p. 108.
Section IV. — Quantité d'énergie transportée, p. 109. — § 1, 109. — § 2. Conditions à remplir pour un transport à longue distance, p. 109.
Section V. — Utilisation de l'énergie transportée. — Conditions d'efficacité résultant de ce mode de transport, p. 110. — § 1. Courants de convection, p. 110. — § 2. Courants vibratoires, p. 113.

PREMIÈRE SECTION

Notre énergie matérialisée peut être transportée d'un point à un autre de deux manières différentes principalement :

1° Ou bien par train direct, sans changement de voiture d'un bout à l'autre du parcours.

Mais dans ce cas, la matière caractéristique (électrique, ou calorique, ou etc.) qui porte l'énergie pure, ne se meut pas d'elle-même. Elle est transportée dans un autre véhicule, comme, aux premiers temps des chemins de fer, on chargeait sur un wagon les diligences avec leurs voyageurs.

Telle est l'image du courant de convection. C'est le cas de la sphère chargée d'électricité et que l'on transporte à la main. C'est le cas du courant d'eau ou du courant d'air qui transporte la chaleur.

2° Mais il y a un autre mode général de transport de l'énergie.

Elle change sans cesse de véhicule. Chaque particule de matière caractéristique avance deux pas puis revient en arrière ; la suivante continue le mouvement pour un instant et ainsi de suite.

Seule l'énergie pure se transporte du point de départ au point d'arrivée. A chaque étape, elle se dématérialise et se rematérialise.

C'est assez curieux qu'en définitive le transport s'effectue ainsi plus rapidement que par l'autre procédé (1).

Le premier mode de transport est représenté par les *courants de convection*. Le second mode dit *vibratoire* ou sans transport de *matière* comprend :

---

1. Chez les Romains, un système analogue suppléait au défaut de télégraphe. Un courrier recevait la nouvelle, se hâtait sur quelque 100 mètres de chemin — et confiait la dépêche à un autre courrier — qui bientôt la cédait à un troisième.

Le transport était beaucoup plus rapide que si un même homme avait eu à fournir une longue course.

1° Les courants de rayonnement ;

2° Les courants de conductibilité.

Les courants de conductibilité exigent la présence de la matière mécanique, — présence qui est inutile pour les courants de rayonnement. Pour ces derniers l'éther suffit.

L'une des plus importantes différences entre le transport d'énergie par convection et le transport vibratoire est le suivant : — La vitesse de transport de l'énergie du point A au point B de la ligne (qu'on appelle la *vitesse de propagation*), n'a pas la même signification dans les deux cas.

Dans les courants de convection, l'énergie mécanique efficace au point d'arrivée dépend de cette vitesse de propagation (de la vitesse au moment de l'arrivée).

Dans le cas de transport vibratoire (au moins pour l'énergie rayonnée) la vitesse de propagation, qui est de 300.000 kilomètres à la seconde, n'a aucune influence sur l'énergie, la force vive à l'arrivée (1).

---

1. « Dans le monde naturel, comme dans le monde artificiel, les mouvements de va-et-vient possèdent une importance extrême : depuis l'aile du moucheron, produisant à notre oreille le bruit strident précurseur d'une piqûre, jusqu'au flux et au reflux de la mer, une foule de mobiles vont et viennent, oscillent entre deux limites qu'ils ne franchissent pas. — Le diapason ou la corde vibrante exécutent, tout comme l'air qui nous transmet le son, un mouvement oscillatoire ; le pendule des horloges et le balancier des montres, le navire à l'ancre battu par le flot, les vagues elles-mêmes se balancent de droite à gauche ou de haut en bas, tout en gardant une position moyenne par laquelle ils repassent sans cesse. » Guillaume, *Initiation à la mécanique*, p. 136. Paris, 1909.

SECTION II

Facteurs de l'énergie dans les deux cas (convection ou courant vibratoire)

§ 1. — *Courant de convection*

Article premier

Facteur extensité

La matière caractéristique est transportée par la matière ordinaire, mécanique, du corps véhiculant (air par exemple). Mais il n'y a pas lieu de s'occuper de la quantité de cette matière ordinaire, de cette gangue, inerte en la circonstance (1).

Seule la quantité de matière caractéristique, incluse dans le corps véhiculant, comptera comme extensité (2).

Article 2

Facteur intensivité du courant de convection

La vitesse du corps véhiculant devient la vitesse de la matière caractéristique.

Si vous transportez une sphère chauffée ou électrisée avec une vitesse de 1 mètre par seconde, vous serez bien sûr que

1. Nous supposons que l'énergie mécanique du corps véhiculant (air par exemple) ne se transforme pas en chaleur par compression.

2. Cependant, la quantité de matière ordinaire fournira une première indication. On admettra, par exemple, que dans une quantité d'eau deux fois plus grande, il y a deux fois plus de matière calorique activable.

dans ce cas la vitesse de la matière électrique ou calorique sera de 1 mètre par seconde.

Et cette intensivité de vitesse est ici nettement distincte de l'intensivité statique (différence de potentiel). — Que le corps véhiculant se déplace vite ou lentement, la différence de potentiel reste toujours la même. Il s'agit là d'un courant hétéromobile.

Article 3

L'énergie totale est le produit de l'extensité par l'intensivité

Si la quantité activée de calorons était immobile, l'*intensivité* étant la *température*, on aurait comme produit un certain nombre de calories.

Si maintenant on met ces calories en mouvement, aura-t-on une quantité d'énergie supérieure et d'autant plus grande que la matière calorique se déplacera plus vite?

Ou bien ce courant de chaleur donnera-t-il naissance, dans le milieu ambiant, à une autre énergie toute différente de l'énergie calorique ?

C'est ainsi que, sur une sphère électrisée, la quantité d'énergie électrique est déterminée par la capacité et le voltage et ne varie pas quelle que soit la vitesse de déplacement imprimée à la sphère.

Pourtant, lorsque la sphère commence à se mouvoir, il naît des énergies qui n'existaient pas dans la période d'immobilité. — Mais l'énergie électrique ne remplit ici qu'un rôle *catalytique*, pour assurer la transformation de l'énergie mécanique cinétique en énergie magnétique.

L'énergie magnétique varie autour de la sphère ; elle est

d'autant plus grande que la vitesse mécanique est plus grande, mais la quantité d'énergie électrique ne varie pas sur la sphère.

§ 2. — *Courant vibratoire*

ARTICLE PREMIER

Facteur Extensité

C'est toujours la masse de matière caractéristique qui est activée. Seulement dans le cas de conductibilité, elle est toujours enrobée de matière ordinaire, mécanique, — tandis que dans le cas de rayonnement, il n'y a que la matière caractéristique de l'énergie rayonnée (1).

ARTICLE 2

Facteur Intensivité

Dans le courant vibratoire, il faut distinguer deux vitesses :

1° La vitesse de déplacement d'une particule vibrante (laquelle peut osciller transversalement ou longitudinalement par rapport au courant (2);

---

1. Pour l'énergie rayonnée la matière caractéristique est l'éther. L'énergie rayonnée n'est pas plus calorique que lumineuse ou électrique; elle est rayonnée, seulement elle peut être, en raison de sa longueur d'onde, plus facilement transformable en chaleur, en lumière ou bien en électricité.

2. Si le courant calorique est de conductibilité, *l'amplitude* du déplacement d'une particule de calorique prend le nom de *température*.

2° La vitesse de propagation ou vitesse avec laquelle l'état d'ébranlement passe du point A au point B de la ligne.

Propagation d'une déformation élastique dans un milieu matériel (1)

La vitesse de propagation est indépendante de la forme et de l'amplitude de la perturbation.

Mais cette vitesse, dans un même milieu, est différente — pour les perturbations *longitudinales* — et pour les perturbations ***transversales***.

A. — *Vibration transversale*

Dans ce cas, deux facteurs jouent un rôle pour la propagation de l'énergie :

1° La *masse* des différentes parties intéressées successivement par la perturbation ;

2° L'*élasticité* des liaisons existant entre ces différentes parties (2).

Pour isoler ces deux facteurs, supposons que nous réalisions l'expérience suivante : disposons tous les 2 centimètres de petites masses de plomb montées sur un fil de

---

1. Les lois de propagation d'une déformation permanente (écrasement, étirement) ne sont pas les mêmes.

2. Pour qu'une vibration transversale puisse se propager, il faut qu'il y ait des *liaisons* entre les tranches juxtaposées. Cette propagation est impossible dans les milieux, comme l'air, qui ne sont pas assez visqueux, dont les tranches glissent trop facilement l'une sur l'autre.

caoutchouc (fig. 14). La masse du caoutchouc est négligeable et c'est lui seul qui représente la force élastique. Les deux facteurs sont donc bien isolés ainsi.

FIG. 14

Nous immobilisons pour un instant toutes les boules, sauf la première. A celle-ci nous donnons un petit déplacement latéral par rapport à la position d'équilibre, puis nous la lâchons, en même temps que nous rendons la liberté à toutes les autres boules.

La boule n° 1 exerce sur la boule n° 2 une force f ; par conséquent la boule n° 2 va se déplacer transversalement vers le haut En même temps la boule n° 1 est ramenée en bas à sa position d'équilibre.

La boule n° 2 va maintenant jouer, par rapport à la boule n° 3, le rôle que jouait la boule n° 1 par rapport au n° 2, etc.

Quelles sont les conditions qui influent sur la vitesse de propagation V de la perturbation ? La force exercée par la boule n° 1 sur la boule n° 2 dépend seulement de l'élasticité du fil.

Mais la boule n° 1 se déplaçant pour revenir vers l'axe, la force varie. — La vitesse de variation de la force (qui, en fait, sera la variation d'action du n° 1 sur le n° 2) dépend de la *vitesse* de la boule n° 1 et par conséquent de la *masse* de cette boule, puisque la vitesse que prend un corps est fonction à la fois de la *force* et aussi de la *masse*.

Première expérience. Si, sans changer les masses, on augmente les forces d'élasticité (en mettant un caoutchouc de plus grosse section), la vitesse de la boule n° 1 se trouve augmentée, celle de la boule n° 2 également.

La rapidité avec laquelle la boule n° 2 agit sur la boule n° 3 dépend de la vitesse avec laquelle le n° 2 s'écarte de sa

position d'équilibre. Plus vite cette boule sera loin de l'axe, plus vite elle agira sur le n° 3 et ainsi de proche en proche. — Donc en augmentant la force d'élasticité, on augmente la vitesse de propagation.

Deuxième expérience. Une augmentation de la masse (grosse boule de plomb), — sans changer la force d'élasticité, la section du fil de caoutchouc, — produit l'effet inverse.

La vitesse de la boule n° 1 devient plus faible. Donc la vitesse de propagation devient plus petite.

B. — *Mécanisme de propagation d'une vibration longitudinale*

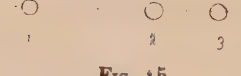


FIG. 15

Reprenons notre fil de caoutchouc avec les boules de plomb.

Écartons la boule n° 1 dans le sens de l'axe du fil (en immobilisant les autres boules) puis rendons la liberté à toutes les boules.

Il naît sur la boule n° 2 une force qui dépend de l'élasticité du fil. La boule n° 2 va se mettre en mouvement avec une vitesse d'autant plus grande :

α) Que la force élastique du caoutchouc est plus grande,

β) Et que la masse de la boule n° 2 est plus petite.

Remarque I. — Pour un même caoutchouc et une même masse des boules — la vitesse de propagation des vibrations *longitudinales* est plus grande que la vitesse de propagation des vibrations *transversales* (1).

1. Cela tient à ceci : la grandeur de la force élastique dépend de l'allongement imposé au caoutchouc. Or si on écarte la boule de 1 centimètre transversalement à l'axe normal du caoutchouc on allonge moins ce caoutchouc — que si on écarte la boule de 1 centimètre dans le prolongement de l'axe,

Remarque II. — La vitesse de propagation ne dépend pas de l'amplitude de la vibration. Le chemin est plus long, mais la vitesse est plus grande, puisque la force élastique est proportionnelle à l'allongement.

Article 3

Vitesse de déplacement d'une particule vibrante

Nous verrons qu'au point de vue de l'efficacité de l'énergie vibratoire, la vitesse de propagation n'a pas d'intérêt, tandis que la vitesse de déplacement de la particule a une grande importance.

Cette vitesse dépend : 1° de la longueur du chemin parcouru par chaque particule durant sa vibration (amplitude) ; — 2° du temps employé pour ce parcours.

L'énergie d'une oscillation est proportionnelle à la fois au carré de son amplitude et au carré de sa fréquence (1).

SECTION III

Comparaison des deux modes de transport au point de vue du débit. — Débit de matière. — Débit d'énergie

§ 1. — *Courant de convection*

Si la matière du courant est composée d'un seul projectile (corps unique et de faible longueur), on ne peut pas vraiment parler de débit ; — mais si le courant comporte un grand nombre de corps qui se suivent en file, ou même un jet

1. Guillaume, *Initiation à la mécanique*, p. 141.

matériel continu, — il peut alors être question de mesurer la *longueur* du corps *qui passe par unité de temps*, — et, par suite, il y a un débit de matière.

Dans un courant d'eau chaude, je puis dire qu'il passe tant de calorons à la minute, tant d'unités de capacité calorique.

Dans un courant d'eau uniformément électrisé, je puis dire qu'il passe tant d'unités de capacité, tant de coulombs à la minute.

En multipliant cette extensité de courant, ce débit de matière par l'intensivité statique, par la température ou par le voltage, j'aurai le « *Débit d'énergie* complète », — débit de calories, débit de volts coulombs.

Si, à un moment donné, la température tombait au o absolu, — si le voltage devenait nul, — notre courant d'eau deviendrait un simple *courant de matière calorique* ou de *matière électrique*. Il ne serait plus un courant d'énergie électrique ni un courant d'énergie calorique. Il y aurait *débit de matière*, sans *débit d'énergie*.

§ 2. — *Courant vibratoire*

Comment concevoir un débit de matière, d'extensité dans ce cas, puisque la matière ne se transporte pas ?

On peut supposer une série de mobiles qui se suivent sur la petite trajectoire d'oscillation (perpendiculaire à la direction de propagation dans le cas d'énergie rayonnée).

SECTION IV

Quantité d'énergie transportée

§ 1. — *Courant de convection et courant vibratoire*

Les courants de convection sont ceux qui transportent la plus grande quantité d'énergie calorique. Les calorifères à air chaud, à eau chaude, à vapeur, emploient de tels courants pour transporter l'énergie du foyer jusqu'aux appartements à chauffer.

Les courants, qui transportent le moins d'énergie, sont les courants vibratoires rayonnés. L'onde hertzienne de la télégraphie sans fil transporte une bien faible quantité d'énergie. C'est pourtant grâce à un mode de transport de ce genre que l'énergie du soleil arrive jusqu'à nous.

Quant aux courants vibratoires par conductibilité, ils transportent en fait de grosses quantités d'énergie dans les courants électriques pour l'éclairage ou la force motrice.

En théorie, cependant, la quantité d'énergie transportée par le mode vibratoire est d'autant plus grande que la masse du milieu par unité de volume est plus grande. Le mercure transporte plus d'énergie que l'air.

Pour transporter beaucoup d'énergie dans un milieu peu dense, il faudrait que l'amplitude du mouvement vibratoire fût énorme. Or cette amplitude est toujours faible.

§ 2. — *Conditions à remplir pour un transport à longue distance*

Pour un transport d'énergie à travers l'air, il est utile

que le mobile ait une grande masse. — Si toute l'énergie était due au facteur vitesse (comme la résistance de l'air grandit beaucoup avec la vitesse), — cette énergie serait dépensée dans l'air avant d'atteindre le but.

Pour transporter de l'électricité à distance, on lui donne un haut potentiel afin de pouvoir diminuer l'ampérage qui seul donne des pertes en chaleur de Joule (RI^2).

Pour transporter à distance de la chaleur, est-il plus avantageux de lui donner une haute température?

Oui, si le courant de chaleur est *automobile*. Si le chemin à parcourir est long, il faut au départ une haute température, pour qu'à l'arrivée on ait encore un niveau acceptable, et que cependant, au long du chemin la chute par mètre soit suffisante pour assurer le mouvement.

Lorsque l'on construit un calorifère à air chaud, il faut chauffer à une température d'autant plus forte au départ que la canalisation est plus longue en projection horizontale.

Cela n'aurait pas le même intérêt, si le courant était hétéromobile, si par exemple l'air était mis en mouvement dans la canalisation par un ventilateur électrique.

SECTION V

Utilisation de l'énergie transportée. Conditions d'efficacité résultant du mode de transport

§ 1. — *Courant de convection*

L'efficacité des courants à transport de matière dépend de leur masse et de leur vitesse.

Encore faut-il distinguer :

1° Si le courant est formé d'un seul corps ;

2° Ou bien d'une série de corps qui se suivent à intervalles plus ou moins rapprochés.

Supposons un pendule interposé sur le trajet du courant.

Si le courant est formé d'un seul projectile, le pendule va se mettre à osciller, mais son mouvement, non entretenu, sera bien vite amorti.

Si les projectiles se suivent de trop près, le pendule, une fois déplacé, ne pourra pas revenir en arrière. Il restera fixé dans une certaine position inclinée par rapport à la verticale. On pourrait dire que le pendule est *tétanisé*, par comparaison avec la tétanisation d'un muscle. L'action de chocs très rapprochés équivaut à une pression continue.

Mais si les projectiles se suivent à intervalles convenables (ni trop longs ni trop courts), le pendule a le loisir d'accomplir son retour en arrière, et c'est précisément au moment, où il repart en avant, qu'il reçoit un second choc. Loin d'être gêné, le mouvement du pendule est ainsi entretenu ou même augmenté.

Le courant de convection intermittent joue ainsi le rôle du gymnaste qui lance une balançoire.

Pour que l'expérience réussisse, il suffit que la période, qui s'écoule entre l'arrivée de deux projectiles, entre deux jets du courant, soit exactement la même que la période d'oscillation du pendule (1).

Un courant n'a pas besoin d'être vibratoire pour avoir une *période*. Il suffit qu'il soit interrompu à intervalles réguliers.

---

1. La période d'oscillation du pendule dépend de sa masse, de la longueur du fil de suspension.

Un courant de convection, remplissant ces conditions, produit des effets de « sommation » absolument comparables à ceux que nous étudierons plus loin dans les courants vibratoires.

Nous sommes persuadés que des coups de vent, plus ou moins rapprochés, doivent produire des effets tactiles très différents sur nos terminaisons nerveuses. — Un petit vent à coups pressés nous glace beaucoup plus, qu'un grand vent à périodes larges.

Pour que la sommation puisse avoir lieu, il faut que le récepteur soit doué d'une qualité analogue à la mémoire, de telle sorte que des impressions successives soient comme si elles avaient été simultanées.

C'est la masse qui joue ce rôle. Supposons que nous lancions de façon intermittente un courant d'air chaud, qui traverse une sphère de cuivre de surface constante, cette sphère pourra accumuler en elle d'autant plus de calories qu'elle aura une masse plus grande.

Les intervalles de temps entre deux jets pourront être d'autant plus longs que la masse de la sphère sera plus grande, parce que la température devenant moins élevée, la rapidité de fuite des calories sera moins grande.

On peut comparer ce cas à celui d'un réservoir portant une ouverture vers le fond (surface de déperdition) et alimenté par un courant d'eau intermittent.

Plus grande sera la surface horizontale du réservoir, moins le niveau, la charge deviendra grande, plus espacés pourront être les apports d'eau capables de s'additionner pour élever le niveau.

§ 2.— *Courants vibratoires*

Article premier

Résonance et Sommation

Le courant vibratoire transporte en général assez peu d'énergie. Mais au moyen de certain dispositif, on peut faire qu'un obstacle accumule l'énergie apportée pendant un certain temps, au lieu de perdre cette energie à mesure qu'il la reçoit. C'est le phénomène de *sommation* déjà indiqué précédemment.

Mais ici le courant qui entretient le mouvement du récepteur, au lieu d'être un courant de convection intermittent, est lui-même un courant vibratoire. — Pour que notre courant ne pousse pas à contre-temps l'oscillatur récepteur, il faut qu'il soit accordé à la même période que lui, qu'il aille vers la gauche lorsque le recepteur va vers la gauche, — vers la droite, lorsque le récepteur va à droite. A cette condition, les actions d'un pendule, par exemple, s'additionneront sur un pendule voisin, dont l'amplitude d'oscillation ira croissant.

« La résonance possède une importance extrême ; c'est grâce à elle que nous entendons et que nous voyons, parce que des mouvements vibratoires sont en concordance avec certains éléments de notre œil et de notre oreille, éléments moléculaires pour le premier, mécaniques pour la seconde. Par la résonance, la marée prend la grande amplitude que nous lui connaissons dans certains océans, et notamment, dans l'Atlantique : 14 ou 15 mètres au lieu d'un demi-mètre,

qu'elle aurait, si l'oscillation devait, chaque fois, être excitée à nouveau ; ainsi l'Océan est une escarpolette que la lune pousse en mesure. Par la résonance, on sonne les cloches les plus lourdes... Mais aussi, lorsqu'on fait vibrer à sa période propre un pont suspendu, on augmente tellement l'amplitude de son mouvement, que l'on arrive à rompre ses amarres. Tel a été le cas célèbre du pont d'Angers, qui s'effondra sous le pas cadencé d'un régiment.

» Dans la construction des navires, on évite avec le plus grand soin de donner aux machines la même période d'oscillation que celle de la coque, sous peine de voir celle-ci entrer en vibration, pour le plus grand danger du bâtiment. Le grand croiseur *Jeanne-d'Arc*, par exemple, vibrait tellement qu'on dut en modifier la construction.

» De même, lorsqu'un vaisseau coupe la vague, de telle sorte qu'il atteigne les crêtes successives à des intervalles égaux à la période de son mouvement, le tangage s'accentue au point de devenir très dangereux. On a vu ainsi des bateaux sombrer par une mer peu agitée, mais dont la lame était très régulière ; il eût suffi pour parer au danger, de changer l'allure du bâtiment ; après un faible parcours les vagues l'auraient attaqué à contre-temps de ses mouvements et auraient produit ce qu'on nomme un *battement*, c'est-à-dire une décroissance et un arrêt momentané du tangage, causé par le fait qu'après avoir agi dans le sens de la vitesse, les impulsions se décalent et détruisent peu à peu le mouvement qu'elles ont engendré (1). »

1. Guillaume, *Initiation à la mécanique*, p. 148.

Article 2

Phase et Période

Pour que l'énergie vibratoire d'un corps Primum s'use sur un corps Secundum, en lui communiquant de l'énergie,

1° Il ne suffit pas que les deux corps aient même période, — que la durée (qui sépare le zéro d'énergie du maximum d'énergie) soit la même pour les deux ;

2° Il faut encore que les deux corps soient en concordance de *phase*, c'est-à-dire qu'ils passent ENSEMBLE par le zéro de vitesse et par le maximum de vitesse.

Pour que deux danseurs se soutiennent, il ne suffit pas qu'ils opèrent un balancement dans la même durée de temps, il faut encore qu'ils partent au même instant.

Supposons un courant électrique de conduction dans lequel la différence de potentiel oscille entre zéro et une certaine valeur.

S'il n'y a pas de résistance, la matière suit instantanément l'action de la différence de niveau, le maximum de déplacement de l'électron a lieu au moment du maximum de force électromotrice.

Mais à la fin de sa course (maximum d'écartement) l'électron n'a plus de vitesse.

Donc c'est le minimum de vitesse de la matière (électrique) le *minimum* de débit, qui a lieu au moment du *maximum* de différence de niveau. Il n'y a donc jamais d'énergie créée (l'intensivité et l'extensité n'existant jamais ensemble).

Maintenant, au contraire, créez une résistance ; — la ma-

tière n'obéira plus tout de suite à la différence de niveau. Il y aura un retard, si bien que le déplacement ne sera plus maximum et la vitesse nulle au moment où la différence de niveau sera maxima.

La différence de potentiel élevée et le débit de matière coïncideront. Il y aura une énergie capable de produire des effets extérieurs.

Article 3

Absorption de l'énergie vibratoire rayonnée

L'absorption de l'énergie vibratoire rayonnée, c'est sa transformation en énergie vibratoire d'une matière autre que l'éther, energie de conductibilité électrique ou calorique, ou bien énergie mécanique.

L'énergie rayonnée totale est due à l'existence de deux énergies rayonnées : une transformable en énergie électrique et l'autre transformable en énergie magnétique, qui sont toutes deux alternatives.

L'énergie rayonnée alternative, créatrice de l'énergie électrique, consiste dans un déplacement de la particule d'éther perpendiculairement à la direction de propagation de l'énergie. Cette particule d'éther entraîne un électron dans son mouvement. Tantôt l'électron a une grande vitesse, tantôt il est au repos.

Une autre particule d'éther (vibrant perpendiculairement à la fois au déplacement de la première et à la direction de propagation de l'énergie totale) crée une énergie magnétique qui, elle aussi, s'allume et s'éteint périodiquement.

Au moment où l'électron a son maximum de vitesse, il équivaut à un courant électrique — sur lequel va réagir l'énergie magnétique pour produire une troisième énergie dite de déviation, laquelle ne peut se produire qu'en détruisant en partie l'énergie rayonnée totale.

Premier cas. — Milieu transparent (non absorbant) pour l'énergie rayonnée ; l'électron inclus dans la surface réceptrice ne rencontre pas de résistance à son mouvement. Il est donc à la fin de sa course au moment du maximum de la différence de potentiel électrique.

La vitesse de l'électron est nulle au moment du maximum de l'énergie magnétique. Donc, il n'y a pas de réaction du champ magnétique sur le courant électrique — et pas de création d'une énergie parasite de déviation, qui absorberait une partie de l'énergie rayonnée.

Deuxième cas. — Au contraire, dans les corps absorbants, il y a un frottement qui empêche l'électron d'obéir de suite à l'influence de la différence de potentiel électrique. Son déplacement a lieu en retard.

Au moment du maximum du champ magnétique, l'électron a une certaine vitesse, le courant électrique n'est pas nul ; et le champ magnétique réagit sur lui. Il en résulte une création d'énergie d'autre nature, une absorption d'énergie rayonnée.

Article 4

Longueur d'onde

Nous savons que, pour que l'énergie du courant vibra-

toire soit absorbée par le récepteur, il faut que celui-ci ait même période que le courant.

Il est donc utile de connaître la période. — Mais les périodes de l'énergie rayonnée sont beaucoup trop courtes pour pouvoir être mesurées.

Il existe, au contraire, une autre quantité qui est directement mesurable (1).

C'est la *longueur d'onde*, qui est reliée à la période par la formule :

$$\lambda = V\,T$$

$$\begin{pmatrix}\text{Longueur}\\ \text{d'onde}\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\text{Vitesse de propagation}\\ \text{de l'énergie rayonnée}\\ = 300\,000 \text{ kilomètres}\\ \text{par seconde}\end{pmatrix} (\text{Période})$$

Quand on connaît la longueur d'onde, on peut en déduire la période :

$$T = \frac{\lambda}{V}$$

et c'est uniquement pour cela qu'on parle de longueur d'onde (2).

---

1. Par la méthode des interférences.

2. Comment peut-on se représenter la longueur d'onde ? Qu'on nous permette une comparaison assez vulgaire : lorsqu'un homme ivre marche en festonnant, — après une déviation à droite, suivie d'une déviation à gauche — il se retrouve pour la troisième fois sur l'axe de la route. — Il a accompli ce qu'on appelle une *période* complète.

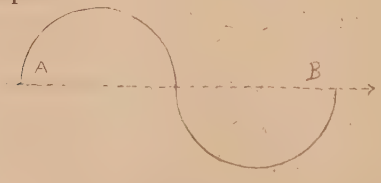


Fig. 16

Mais pendant ce temps, il a tout de même avancé un peu, de A en B. Ce chemin A B est ce qu'on désigne par l'expression de *longueur d'onde* (fig. 16).

La température de l'énergie calorique, le voltage de la charge électrique, produites en un point par transformation d'un courant d'énergie rayonnée, n'ont pas de rapport immédiat avec la longueur d'onde de cette énergie.

La température n'est qu'une amplitude ; elle est d'autant plus grande qu'il existe une plus grande quantité d'énergie dans une capacité donnée. Or, la quantité d'énergie absorbée sera d'autant plus grande, que le récepteur sera mieux accordé sur la période de l'énergie rayonnée. Voilà le lien entre l'amplitude (ou vitesse vibratoire) de l'énergie Secunda, — et la longueur d'onde de l'énergie Prima.

Article 5

Influence de la nature des surfaces sur l'absorption

Une surface polie et brillante absorbe peu. — Si on la noircit, elle absorbera toute l'énergie rayonnée incidente (1).

1. Voir IIIe partie, chapitre III « Variations de l'actinisme », p. 264.

CHAPITRE XV

COURANT DE RÉGIME ET COURANT VARIÉ

SOMMAIRE

Première section. — Définition, p. 120. — § 1, p. 120. — § 2. État varié accompagnant l'établissement d'un courant, p. 122. — § 3. Forme possible du courant varié (au point de vue du temps), p. 125. — § 4. Causes des variations, p. 125.
Section II. — Efficacité du courant selon qu'il est de régime ou bien varié, p. 126. — § 1. Courant de régime, p. 126. — § 2. Efficacité du courant varié, p. 129. — § 3. Volant thermique, p. 130.

PREMIÈRE SECTION

Définition

§ 1

Nous avons défini le débit de matière : la quantité de matière qui passe pendant l'unité de temps en face d'un point fixe dans un canal donné.

Le courant sera dit de régime si ce débit est le même en tous les points du canal.

Mais s'il passe, par exemple, 100 litres d'eau par seconde au point A et seulement 50 litres par seconde au point B, le courant sera dit varié.

Cinquante litres se sont perdus en route, ou plutôt ils se sont accumulés quelque part. On dit que le flux n'est pas conservatif (1).

Pour qu'il y ait état de régime, il faut deux conditions :

1° Un débit de *matière* qui soit le même pour tous les points du canal ;

2° L'invariabilité du niveau (potentiel) propre à chaque point.

Mais l'uniformité de la vitesse d'une particule matérielle en tous les points du canal n'est nullement une caractéristique de l'état de régime. — Si, par exemple, le canal a en B une section moitié moindre qu'au point A, il faudra, pour conserver le débit, que la vitesse soit moitié plus grande.

Dans ces conditions, le débit d'énergie n'est pas le même en tous les points d'un courant de régime, — puisque le débit de matière étant le même partout, la vitesse n'est pas la même partout.

Un fait paraît étonnant. On dit que, dans un courant de régime de chaleur, le *débit en calories* est le même en tous les points du canal.

Le débit de calories serait donc équivalent à un débit de matière et non à un débit d'énergie totale.

C'est une illusion due à ce qu'on ne considère pas le cas général.

Le type du mur indéfini de Fourier n'est qu'un cas particulier, celui où la chute de température par mètre est régulière.

Appelons *débit d'intensivité* la chute de niveau par mètre. — Sous le bénéfice de cette définition, le produit « *d'un débit*

1. Voir chapitre XI « Flux et courant », p. 75.

de matière constant » par « *une chute de niveau par mètre* invariable dans toute la longueur du canal », constitue un « *débit invariable d'énergie totale* ».

Il se trouve qu'un pareil débit d'énergie accompagne un courant de régime dans le mur de Fourier, mais cette coïncidence n'a rien de nécessaire.

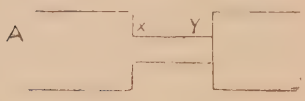


Fig. 17.

Supposons de l'énergie calorique circulant par conductibilité dans une barre de cuivre parfaitement isolée et présentant une partie étranglée x y (V. fig. 17).

Si le courant est de régime, il passera la même quantité de calorons par seconde en x qu'en y, le débit de matière est partout le même. — Mais la chute de température par centimètre sera très faible entre A et x et très grande par centimètre entre x et y.

§ 2. — *État varié accompagnant l'établissement d'un courant*

Toutes les fois qu'on établit un courant d'eau dans un canal, vide jusque-là, le courant commence par être varié, c'est-à-dire que le débit de matière n'est pas le même en tous les points du canal.

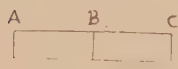


Fig. 18.

En effet, au début, il passe par exemple 10 litres d'eau par minute au point A, — alors qu'il ne passe rien au point B qui est à sec (fig. 18).

Il s'accumule de l'eau entre A et B, et il y restera toujours de l'eau en excès, même quand le courant sera bien établi. Le tronçon AB ne perdra jamais cette avance. C'est de l'eau

qui ne coûtera pas, qui restera au-dessous du courant comme pour exhausser le fond du canal.

La quantité d'eau qui arrivera par la suite, s'élèvera par-dessus cette première mise, par conséquent le niveau montera (1). Cette avance *dans le temps* se traduit par un niveau qui restera toujours plus élevé dans le tronçon AB que dans le tronçon BC.

Le niveau en un point grandira d'autant plus rapidement que le débit de matière sera plus grand et que la capacité à remplir sera plus petite. Telle est la relation entre la quantité de matière et le niveau.

Variation du débit de matière. — Quand l'eau a commencé à pénétrer dans le tronçon BC, le débit de matière va en augmentant en B et en diminuant en A jusqu'à ce que le régime soit établi dans tout le canal. — Ensuite le débit est égal en A et en B. Mais le niveau reste différent.

Quant au débit en A : Avant l'établissement du régime il commence par grandir, puis passe par un maximum, enfin décroît jusqu'au débit de régime (2).

Le débit de matière était faible d'abord en A, parce qu'il faut du temps pour qu'il arrive une quantité d'eau appréciable. — La tête d'un courant se termine en biseau. Le torrent qui se précipite, l'écluse ouverte, met d'abord 10 centimètres d'eau, là où il y aura plusieurs mètres de niveau tout à l'heure.

Mais ensuite le débit de matière se ralentit, parce que

1. Le niveau total sera formé de la superposition du niveau de la partie fluente et du niveau de la partie immobile de la matière.
2. Le niveau, lui, grandit sans cesse jusqu'au niveau de régime auquel il s'arrête.

l'eau, qui est déjà en aval du point A forme une résistance. Une masse fluide, lente à s'écouler, joue dans une certaine mesure le rôle d'un mur immobile (1).

Si le canal n'est pas très long et aboutit à une vaste nappe, — au moment où la tête du courant arrive à l'extrémité, — la résistance cesse de croître et le débit de matière se trouve réglé invariablement pour tout le canal.

Mais si notre tuyau était de longueur infinie, jamais l'état de régime ne s'établirait, puisque la résistance en aval irait sans cesse grandissant ; et le débit de matière en A irait sans cesse diminuant.

La condition pour que l'état de régime s'établisse, c'est que le tuyau aboutisse à un réservoir de capacité infinie, où (quelle que soit la quantité d'eau déversée), le niveau ne monte pas. Désormais la résistance totale ne variera plus, — et, si le niveau ne varie pas non plus à la source, le régime sera établi.

En résumé, l'état de régime est dû à un écoulement entre deux réservoirs (source et déversoir) de capacité tellement grande, que la quantité d'eau en sortant, ou bien y entrant, ne fasse pas varier le niveau (2).

---

1. La lenteur participe un peu des propriétés de l'immobilité ; car le mouvement est une chose toute relative.

Un obstacle, qui n'aura reculé suffisamment que dans une heure, joue absolument le même rôle qu'un corps immobile, lorsqu'une automobile lancée à toute vitesse le rencontre sur sa route.

2. Si on dressait un mur à l'embouchure d'une rivière, le niveau s'élèverait là, après un certain temps, aussi haut qu'à la source ; puis le débit s'arrêterait.

C'est ce qui arrive quand on coupe le circuit d'une pile. L'extré-

§ 3. — *Formes possibles du courant varié (au point de vue du temps)*

Il existe des courants *lentement variés* dans lesquels le débit de matière augmente ou diminue insensiblement.

Les plus intéressants pour nous sont les courants *brusquement variés*, dans lesquels, par exemple, le débit de matière (qui était de deux litres d'eau par seconde dans la première seconde), passe à cent litres d'eau par seconde dans la deuxième et la troisième seconde, puis redescend à quatre litres par seconde dans la seconde suivante.

§ 4. — *Causes des variations*

Il y a plusieurs causes possibles. Le débit de matière peut augmenter ou bien parce que la vitesse d'une particule d'eau augmente, — ou bien parce que la section du canal augmente (variation de résistance).

mité du fil B relié au cuivre monte au même potentiel que le cuivre.

Si vous isoliez d'une façon parfaite une tige de cuivre (eût-elle 10 mètres de long), l'extrémité atteindrait finalement la même température que le bout que vous chauffez.

Mais si vous abattez la levée de votre étang, si vous mettez en communication l'extrémité B du fil électrique avec le zinc de la pile, si vous touchez la tige chaude avec un corps conducteur, — vous assisterez à une chute rapide de niveau.

SECTION II

Efficacité du courant selon qu'il est de régime ou bien varié

§ 1. — *Courant de régime*

Aticle premier

A un certain point de vue l'effet des courants de régime est très analogue à l'effet d'une énergie statique. C'est pour le courant de régime qu'on a créé l'expression *d'équilibre mobile*.

Dans une machine se mouvant en équilibre, toutes les parties ayant la même vitesse, il n'y a pas entre elles de chocs brisants, aucune efficacité locale; il n'y a qu'un mouvement d'ensemble. Le mouvement, comme l'énergie, est chose toute relative. Deux corps se déplaçant à la même vitesse sont immobiles et sans énergie cinétique l'un par rapport à l'autre. Un voyageur, emporté dans un train à 100 kilomètres à l'heure, peut se croire immobile s'il ferme les yeux, pourvu que la vitesse ne varie pas. Un aéronaute, dans un ballon sphérique emporté par la tempête, ne se doute pas qu'il y a du vent, s'il ne voit pas la terre.

Plaçons un sujet dans un courant de chaleur de régime, par exemple dans une pièce traversée par un courant de convection d'air chaud (à faible vitesse pour éviter la sensation de vent). Cette partie de la chambre est maintenue à 20 degrés par du feu.

Supposons une autre chambre à 20 degrés également, mais dans laquelle le feu est éteint.

Le sujet sentira-t-il une différence selon qu'il sera dans l'un ou l'autre lieu ? En fait, les deux situations ne sont pas équivalentes si l'on envisage une certaine durée de temps.

Cas de la chaleur morte. — Si le feu est éteint, toute perte de chaleur est définitive et amène une baisse de température durable. Si faible que soit cette baisse, nous avons en fort peu de secondes le sentiment de ce défaut de compensation.

Cas de la chaleur vive. — Le feu est allumé, un faible refroidissement est bientôt compensé par de nouvelles calories. Nous n'avons pas eu le temps de souffrir.

Autre différence : Le thermomètre est en général placé de façon à nous donner la température de l'enceinte. Or, le sujet est placé entre le foyer et l'enceinte. Donc, lorsque le feu est allumé, le sujet est à une température intermédiaire, mais supérieure à celle de l'enceinte. — Au lieu que, dans le cas de chaleur morte, c'est la température de l'enceinte qui règne partout.

Article 2

Efficacité locale d'un courant de régime

Il faut observer que dans un courant de régime (courant à débit de matière constant) l'efficacité peut ne pas être la même en tous les points.

Fig. 19

Resserrez le lit d'un fleuve en un point X ; — après une période d'état variable (pendant laquelle le niveau en Y s'abaissera et le niveau en X s'élèvera), — l'état de régime sera rétabli (fig. 19).

Nous aurons le même débit (en litres par seconde) en X qu'en A. Seulement la vitesse sera beaucoup plus grande en X qu'en A.

L'énergie cinétique par litre d'eau sera beaucoup plus grande.

Au lieu d'un fleuve au cours lent et majestueux, nous aurons un torrent capable d'effets locaux brisants. (Il use les rochers au milieu desquels il passe.)

Supposons maintenant un courant sans transport de matière, un courant vibratoire d'énergie rayonnée par exemple (fig. 20).

FIG. 20

Un système de deux lentilles convergentes et de deux lentilles divergentes a resserré le faisceau d'énergie entre les points X et Y.

L'énergie ne s'étant accumulée nulle part, le courant doit sans doute être considéré comme étant de *régime*.

Mais ce qu'on peut appeler ici l'énergie *cinétique*, doit être beaucoup plus grande entre X et Y que sur tout le reste du parcours. L'amplitude de la vibration des particules d'éther (donc leur vitesse transversale) est beaucoup plus grande dans cette région qu'en A.

Les effets locaux sont aussi beaucoup plus intenses entre X et Y qu'en A. Une molécule organique, placée là, est par exemple décomposée, carbonisée.

§ 2. — *Efficacité du courant varié*

Il désorganise beaucoup plus sûrement les corps soumis à son influence, qu'un courant de régime, parce qu'il engendre des chocs.

Si vite que nous allions en automobile, nous ne courons aucun danger tant qu'il ne se produit ni arrêt ni modification dans la vitesse.

Mais si le wattman freine brusquement, la voiture s'arrête, et les voyageurs, continuant le mouvement, sont projetés à 10 mètres en avant sur la route.

Un effet analogue se produit dans la bobine de Rhumkorff. Arrêtons brusquement le courant dans le circuit primaire, on dirait qu'une certaine partie de l'énergie électrique continue le mouvement, en créant le courant induit direct dans le circuit secondaire.

Quand l'automobile démarre trop vite, les voyageurs sont couchés en arrière. Quand le courant s'établit dans le primaire de la bobine, une partie de l'électricité reste en arrière, créant le courant induit inverse (1).

Ce sont des effets d'inertie.

En matière de courant de chaleur, si le courant s'établit ou s'arrête brusquement, ne s'en détache-t-il pas quelque chose, quelque énergie nouvelle capable (comme l'énergie électrique d'induction) d'effets spéciaux ?

1. Lorsque le courant de régime est établi, lorsque la vitesse ne varie plus, les voyageurs ne sont plus projetés ni dans un sens ni dans l'autre, et de même le fil secondaire de la bobine n'est plus parcouru par aucun courant.

§ 3. — *Volant thermique*

Si les variations de courant sont des accidents de trop courte durée, elles ont peu d'influence sur les corps extérieurs, surtout lorsque ceux-ci ont une grosse masse. Un instrument destiné à mesurer les variations de température ne donnera plus aucune indication si ces variations sont trop brèves, surtout si l'inertie de l'appareil est grande.

Il n'aura pas eu le temps de dévier dans un sens, que déjà il devrait dévier en sens inverse ; il reste alors immobile.

Il joue le rôle de régularisateur que remplit dans les machines cette lourde roue de fer qu'on nomme le volant. Cette roue absorbe les excès de vitesse donnés par à-coups par le moteur et restitue de la vitesse lorsque le mouvement tendrait à se ralentir.

Par comparaison avec ce volant régularisateur de l'énergie cinétique, on parle souvent de *volant thermique*. On désigne ainsi une grande capacité susceptible d'emmagasiner beaucoup de calories sans que la température monte sensiblement et de les restituer ensuite sans que la température baisse beaucoup. Grâce à cette masse de matière calorique, les variations de niveau s'estompent, deviennent très peu apparentes (1).

1. Une source donne 1000 litres d'eau à la minute à certains instants et 50 litres à d'autres. On veut empêcher qu'il n'en résulte des variations de niveau sensibles dans le canal adjacent. Il suffit pour cela d'interposer entre la source et le canal un réservoir à très vaste surface.

CHAPITRE XVI

SUPERPOSITION DE DEUX MOUVEMENTS OSCILLATOIRES

On constate souvent la coexistence de deux systèmes de variations dans les circonstances suivantes :

1° Un premier mouvement est vibratoire et de période extraordinairement courte.

C'est lui qui fait que l'excitation est perçue par tel de nos sens et non pas par tel autre sens. C'est à cause de cette première sorte de vibration que tel traitement est lumineux, ou bien calorifique, ou bien électrique ;

2° Une seconde variation a une période beaucoup plus longue que celle du premier mouvement.

Si bien que nous pouvons apprécier directement la durée de ces périodes de seconde espèce.

Par exemple, éteignons une lampe électrique à incandescence une fois par seconde. — Ce n'est pas cette période qui constitue la lumière.

Mais pourtant cette longue période a aussi une action sur l'organisme et une action distincte de l'action de telle ou telle couleur.

Si la période de cette deuxième variation est trop courte, nous ne sentons plus cette variation, le phénomène nous

semble continu. Éteignons notre lampe cinquante fois par seconde, — grâce à la persistance de l'impression sur la rétine, nous aurons l'illusion d'une lumière fixe.

La seconde variation a cessé d'être perçue, bien que sa période diminuée soit encore infiniment plus longue que la période de la première vibration (que nous sentons toujours, puisque nous voyons de la lumière).

Peut être, n'est-ce pas le même organe qui enregistre les deux ordres de variation.

Il est certain que la variation de température a, sur l'organisme, une action distincte de l'action exercée par la chaleur à température fixe.

C'est précisément cette seconde sorte d'oscillation à période relativement longue, qui nous intéresse dans le présent travail.

Nous croyons que l'étude du *rythme* d'absorption ou d'élimination de la chaleur prendra un jour une grande importance pour le médecin, tant au point de vue du diagnostic (pour établir des distinctions entre les fièvres de même température statique) qu'au point de vue thérapeutique.

Il y aurait sans doute là matière à bien des recherches.

DEUXIÈME PARTIE

REMARQUES

SUR LE COURANT PHYSIOLOGIQUE DE CHALEUR

SOMMAIRE

Chapitre premier. — Cas simplifié où le courant physiologique de chaleur est assimilable à un simple courant physique, p. 135.
Chapitre II. — Complications qui distinguent le courant physiologique d'un simple courant physique de chaleur, p. 149.
Chapitre III. — Du courant de chaleur comme moyen d'assurer la conservation des effets catalytiques de l'énergie calorique dans l'organisme (De la Régulation), p. 160.
Chapitre IV. — Du courant de chaleur en tant qu'il produit des effets cinétiques ou de choc dans l'organisme, p. 169.
Chapitre V. — Causes intérieures particulières de variation du courant de chaleur, p. 200.
Chapitre VI. — Résumé. Accélération et Dislocation. Effets locaux. Troubles de Régulation par défaut de temps dans les changements, p. 203.

Nous ne parlerons ici que de l'animal homéotherme, c'est-à-dire de celui dont la température interne se maintient à un niveau constant, quelle que soit la température du milieu extérieur.

« Remarquons que son niveau thermique invariable ne résulte pas d'un équilibre *fixe*, où l'organisme conserverait indéfiniment sa chaleur ; il s'agit au contraire d'un *équilibre mobile* semblable à

celui d'un fleuve en état de régime ; c'est-à-dire que le corps est traversé par un courant de chaleur où la perte est à chaque instant compensée par la production. La relation calorique de l'état homéotherme se schématise donc en somme, par la simple formule d'équilibre mobile :

» Déperdition = Production » (1).

1. Jules Lefèvre, *Chaleur animale*, Paris, Masson, 1911, p. 373. On s'est appuyé, du reste, sur ce fait pour mesurer calorimétriquement la quantité d'énergie calorique produite par un animal, en la supposant égale à la chaleur qu'il perd.

CHAPITRE PREMIER

CAS SIMPLIFIÉ

OU LE COURANT PHYSIOLOGIQUE DE CHALEUR EST ASSIMILABLE A UN SIMPLE COURANT PHYSIQUE

SOMMAIRE

Première section. — Transport de la chaleur jusqu'à la face interne de la peau, p. 136. — § 1. Transport par conductibilité à travers les tissus du corps, p. 136. — § 2. Transport de la chaleur par convection depuis les organes profonds jusqu'à la face interne de la peau, p. 140.
Section II. — Passage de la chaleur à travers la peau, p. 142.
Section III. — Emission finale de la chaleur dans le milieu extérieur, p. 144. — § 1. Conductibilité, p. 145. — § 2. Conduction, p. 146. — § 3. Rayonnement, p. 146. — § 4. Evaporation, p. 148.

Supposons qu'on sacrifie un animal, et qu'on étudie ensuite sur le cadavre les lois du courant de chaleur, en ayant soin de faire circuler artificiellement dans les vaisseaux un liquide chaud.

On peut, comme Lefèvre (1), diviser en plusieurs parties l'étude du courant de chaleur et envisager successivement :

1. *Chaleur animale*, p. 380.

1° Le transport de la chaleur des couches profondes de l'organisme vers la périphérie ;

2° Puis les conditions de passage de la chaleur à travers l'enveloppe cutanée ;

3° Et l'émission finale de la chaleur dans le milieu extérieur, — qui s'en empare soit par convection, soit par conductibilité ou rayonnement.

PREMIÈRE SECTION

Transport de la chaleur jusqu'à la face interne de la peau

Ce transport peut se faire de deux façons : 1° par conductibilité à travers les tissus ; 2° par convection grâce à la circulation artificielle de liquide chaud que nous avons supposée.

§ 1. — *Transport pour conductibilité à travers les tissus du corps*

Pour rendre plus clair l'exposé du sujet et ne pas mêler deux questions, nous supposerons d'abord un corps chauffé par une source située profondément, mais un corps ne possédant aucune circulation de liquide chaud.

Dans ce cas, le courant de chaleur à travers l'organisme sera uniquement de conductibilité.

L'étude de la topographie thermique en profon-

deur indique dans quel sens doit se produire le courant (s'il est automobile, comme l'est un courant de conductibilité), un tel courant se dirige toujours du point où l'intensivité statique (potentiel, température) est la plus élevée, vers les points où ce niveau est le plus bas. La source d'un fleuve est toujours plus élevée que l'embouchure.

Les organes producteurs de la chaleur et en même temps les moins exposés au refroidissement sont ceux qui ont la plus haute température. Ils sont aussi les plus profonds.

D'après Berger, cité par Landois (1) sur un mouton, voici quelles ont été les températures des divers organes :

	degrés
Cœur droit	41-40
Poumon	41-40
Foie	41-25
Cœur gauche	40-90
Rectum	40-67
Cerveau	40-25
Tissu cellulaire	37-35

Si le courant de conductibilité existait seul, la température de la face interne de la peau dépendrait de la différence de température entre le milieu extérieur et les couches profondes — divisée proportionnellement au rapport entre la résistance des tissus intermédiaires et la résistance de la peau (2).

1. *Dictionnaire de Physiologie* de Richet, mot « Chaleur », p. 154.

2. Lorsqu'on connaît la chute de voltage entre A et C, pour trouver la chute entre A et B, il suffit de savoir si la résistance

Si la température de la face interne de la peau restait fixe aussi bien que celle des organes profonds, nous aurions un courant de régime de chaleur semblable à celui qui traverse le mur de Fourier.

La quantité de matière calorique qui serait débitée par seconde dans un canal ayant l'unité de section, serait donnée par la formule $I = \frac{E}{R}$.

$$\left(\begin{matrix}\text{Débit de}\\ \text{matière}\end{matrix}\right) = \frac{\text{Différence de niveau aux 2 extrémités}}{\text{Résistance}}$$

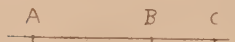
C'est la formule qui résulte de la loi de Fourier et que Ohm a appliquée à l'électricité (1).

Pour trouver la quantité d'énergie calorique débitée par unité de temps, il faudrait multiplier ce débit de matière par la chute de température. On aurait :

$$E\,I = \frac{E'}{R}$$

La résistance dépend de la section du canal. Si nous doublons la section, nous diminuons de moitié la résistance. — Mais elle dépend aussi de la nature du conducteur. Un tuyau à parois internes bien polies sera moins résistant qu'un tuyau à surface rugueuse. Une barre d'argent de 1 centimètre carré de section est moins résistante au courant de chaleur qu'une barre de fer de même section.

AB est la moitié ou le tiers... de la résistance totale AC (fig. 21)



$$\frac{\text{chute voltage AB}}{\text{chute AC}} = \frac{\text{Résistance AB}}{\text{Résistance AC}}.$$

Fig. 21

1. Chappuis et Berget, *Leçons de physique générale*, Paris, Gauthier Villars, édition 1907, t. Ier, p. 629.

On a étudié à ce point de vue, la résistance des divers tissus du corps. Bordier découpait des rondelles de même épaisseur dans les tissus à étudier et les interposait successivement entre deux barres de cuivre canalisant un courant de chaleur constant. Il mesurait la différence de température sur les deux faces de la rondelle (1). Le tissu le plus résistant est celui pour lequel la chute de température est la plus grande.

Voici le tableau dressé par Bordier dans l'ordre des résistances croissantes :

Tissu osseux.
Tissu musculaire (section perpendiculaire).
Caillot sanguin.
Tissu musculaire (section parallèle aux fibres).
Tissu tendineux.
Tissu cartilagineux.
Tissu adipeux (2).

Le moins conducteur de tous les tissus est la peau. Elle est d'autant moins conductrice qu'elle contient moins de sang.

Le tissu adipeux est aussi très résistant et peut exercer, comme la peau, une action protectrice.

Si l'on ne restituait pas de chaleur aux couches profondes à mesure que l'énergie s'écoule, le niveau

1. H. Bordier, *Conductibilité calorifique des tissus* (*Archives de physiologie normale et pathologique*, janv. 1898, p. 17 et 25).

2. Voir aussi études de Greiss, en 1870 ; de Landois, *Traité de Physiologie humaine*, trad. fr., p. 384. — Bordier, *Archives de Physiologie de Brown-Séquard*, janvier 1898, p. 18.

de température de l'intérieur du corps s'abaisserait progressivement, le débit d'énergie diminuerait en même temps que le débit de matière calorique et le courant s'arrêterait lorsque tout l'ensemble serait à la température de l'extérieur.

Il existe des recherches sur le refroidissement des cadavres. Il est vrai qu'elles mesurent en bloc l'influence de la *conductibilité* des tissus et du *pouvoir émissif* de la surface. Bouchut (1), résumant 1100 observations, trouve comme vitesse moyenne du refroidissement après la mort, 0°4, à l'heure en été, et 0°8 en hiver.

M. Lefèvre admet à titre de simple indication, que la quantité de chaleur perdue uniquement par conductibilité par un homme moyennement vêtu est

En été.....	550 calories par 24 heures	
En hiver.....	1460	—
En saison moyenne..	1000	—

§ 2. — *Transport de la chaleur par convection depuis les organes profonds jusqu'à la face interne de la peau.*

Supposons maintenant que notre courant de liquide chaud, — au lieu d'élever la température seulement des organes profonds, — circule dans tous les vaisseaux du cadavre en expérience.

1. Bouchut, *Traité de diagnostic*. Paris, Baillière, 1883. — Voir aussi Guillemot, *le Refroidissement cadavérique*, thèse de Médecine. Paris, 1878. — Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 371.

Nous aurons là un courant de convection dont les effets viendront se superposer à ceux du courant de conductibilité et troubleront la distribution en profondeur que nous avions trouvée pour la température dans notre première expérience.

Sur certains points, comme l'aisselle, les vaisseaux étant très près de la peau, le courant de conductibilité partira de ce point superficiel et, rencontrant peu de résistance dans une aussi faible épaisseur de tissus, perdra très peu de son potentiel. A ce niveau, la peau sera plus chaude qu'ailleurs.

En d'autres endroits du corps, les vaisseaux restant profonds, le courant de conductibilité aura subi une plus forte chute de température.

Il existera donc une topographie de la chaleur à la surface du corps résultant de la disposition des vaisseaux sous-jacents.

Lefèvre (*Chaleur animale*, p. 325) reproduit les figures schématiques de Bergonié. Dans la partie antérieure du corps les points les plus chauds sont situés au creux de l'aisselle, au pli du coude, à la face palmaire de la main, au niveau des clavicules, des sterno-cléido-mastoïdiens et sur la ligne médiane antérieure du cou, — sur le tronc : de chaque côté de l'ombilic et au pli de l'aine.

A la partie postérieure du corps, à la région du jarret et au niveau des reins.

Dans une salle d'expérience à 18 degrés, Stewart a trouvé :

Surface antérieure de l'avant-bras	34°4
Surface postérieure	34°0
Haut de l'épigastre	34°7
Sur le sternum	33°2
Surface de la joue	23°7
Au-dessus du tibia	31°9
Paume de la main	31°0
Plante du pied (1)	30°6

SECTION II

Passage de la chaleur a travers la peau

Nous nous plaçons toujours dans l'hypothèse d'un organisme non vivant, c'est-à-dire n'opérant aucune espèce de régulation qui puisse troubler le phénomène physique. Mais nous supposons les vaisseaux parcourus par un courant de liquide chaud entretenu artificiellement.

La peau, interposée entre les couches sous-jacentes du corps et le milieu extérieur, agit par conductibilité. Lefèvre (2) admet que la conductibilité de la peau est représentée par le nombre 0,00060 lorsque celle de l'argent est de 1,369, celle du cuivre 1,040, celle de l'eau 1,001, celle du bois, 0,00058 et celle de l'air 0,0000008.

Lefèvre (p. 401) admet également que, dans les conditions normales, la différence de température entre les deux faces de la peau est inférieure à 0°5

1. Stewart cité par Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 324.
2. *Chaleur animale*. Tableau, p. 398.

(lorsque la déperdition cutanée totale en vingt-quatre heures est de 2000 grandes calories).

« Cette différence ne s'élèverait à 1 degré que pour les très fortes réfrigérations voisines de 5000 calories. »

Fourrure et Plumage

Leur pouvoir protecteur contre le refroidissement est dû surtout à la présence de l'air mauvais conducteur emprisonné entre leurs fibres, de façon à empêcher tout courant de conduction. Ils protègent d'autant mieux qu'ils sont plus épais et ont des filaments mieux enchevêtrés.

Dans une expérience de Lefèvre (p. 404) un canard eut un débit de chaleur triplé après qu'il eut été plumé.

L'action des vêtements de l'homme est comparable à celle de la toison des animaux.

Voici un tableau donné par Bergonié (1) et fournissant des indications sur le degré de protection assuré par les différents genres de vêtements.

Chemise de laine	1,50
Chemise de flanelle	1,75
Gilet de molleton	1,55
Gilet de chasse	1,60
Gilet de laine des Pyrénées	2,50
Veston gros drap	1,90

1. Bergonié, *De la résistance thermique ou coefficient d'utilité des vêtements confectionnés* (Société de Biologie, 2 février et 2 mars 1904).

Bergonié emplit d'eau à 37 degrés un mannequin en cuivre, puis

Pardessus d'hiver doublé soie.....	2,50
Veston cuir noir doublé.....	1,60
Macfarlane imperméable.....	2,10
Pelisse fourrure (vison).....	4,50

Le coefficient de protection de la peau serait, d'après Lefèvre, comparativement aux chiffres ci-dessus, de 1,50 environ.

Lefèvre remarque, en outre, que « le coefficient de protection du même vêtement n'est pas fixe. Il grandit lorsque le corps est exposé à des courants d'air de plus en plus vifs » (1).

SECTION III

Emission finale de la chaleur dans le milieu extérieur

Le milieu extérieur peut soustraire (2) de la chaleur à notre corps par conductibilité, convection ou rayonnement.

---

mesure le temps employé par ce corps pour se refroidir de 1 degré dans une atmosphère à 12 degrés. Il fait cette recherche d'abord sur le mannequin nu, puis sur le mannequin habillé.

1. *Première expérience.* — Courant d'air faible (vitesse = 1 m. 2 à la seconde), température 9 degrés. — Assis et nu : 134 calories par heure,— et habillé (légèrement) 98 par heure. — Rapport : 1,36.

Deuxième expérience. — Courant d'air fort (vitesse = 4 mètres à la seconde), température 4 degrés. — Assis et nu : 313 calories par heure, — et habillé (légèrement) 170 calories par heure. — Rapport voisin de 2.

Dans un fort courant d'air, le vêtement assure au sujet une économie de moitié sur la perte en calories.

2. Ou apporter.

§ 1. — *Conductibilité*

L'air immobile s'oppose à la naissance du courant de chaleur. C'est un excellent isolant puisque sa conductibilité est représenté par le nombre 0,0000008 alors que celle du cuivre est de 1,040 (Voir p. 142).

L'eau immobile est une moindre protection contre les pertes de chaleur, sa conductibilité étant de 0,001.

L'air humide est donc un moins bon isolant que l'air sec. Mais il est bon d'observer que ceci n'est vrai que pour la vapeur d'eau saturée. Au contraire, la vapeur surchauffée tend à se rapprocher des gaz parfaits par sa très faible conductibilité thermique (1).

Nous verrons, dans la partie psychologique de ce travail, que notre appréciation sur le degré de chaleur des corps extérieurs résulte non pas tant de leur niveau de température thermométrique, que de leur conductibilité. Un corps, qui est à 10 degrés au-dessous de la température de notre main, nous paraîtra glacial s'il est aussi conducteur que l'argent (1,369) parce que nous perdrons rapidement beaucoup de calories. — Au contraire, du bois à la même température nous semblera beaucoup plus

1. Voir thèse de doctorat ès sciences de Armand Duchesne. Paris, 1911.

chaud par comparaison ; sa conductibilité n'est que 0,00058. Les calories issues de notre peau ne vont pas bien loin ; elles forment une *gaine* protectrice dans la couche superficielle du bois et le refroidissement s'arrête.

§ 2. — *Conduction*

Les différences de conductibilité du milieu perdent de leur intérêt, lorsque ce milieu est en mouvement puisque les surfaces en contact avec notre corps se renouvelant incessamment, il ne peut plus se former de gaine protectrice. La masse d'air déjà échauffée est entraînée plus loin et remplacée par une nouvelle masse froide qui nous soustrait de nouvelles calories.

Dans ces conditions, le pouvoir refroidissant d'un courant d'air ou d'un courant d'eau dépendra de la vitesse de ce courant, du nombre de fois que la masse se renouvellera par unité de temps.

Entre la peau et le volume d'air actuellement en contact avec elle, l'échange de chaleur se fait par conductibilité. L'échauffement de la masse d'air sera d'autant plus rapide qu'il y aura une plus grande différence de température entre cet air et la peau.

§ 3. — *Rayonnement. — Influence de l'intensivité statique et de la nature de la surface*

Un corps noir isolé dans l'espace vide rayonnerait

une quantité d'énergie proportionnelle à la quatrième puissance de sa température absolue

$$W = KT^4$$

c'est la loi de Stéphan (1).

Si maintenant le corps noir est entouré d'un autre corps noir de température absolue θ, l'énergie (que rayonne en fait le premier corps noir), est égale à celle qu'il rayonnerait en l'absence de l'autre corps, c'est-à-dire (KT^4) — diminuée de l'énergie qu'il reçoit de l'autre corps $= K\theta^4$ d'où l'énergie perdue par le premier est

$$W = K\,(T^4 - \theta^4)$$

Si le corps voisin n'était pas un corps noir, il faudrait multiplier la quatrième puissance de sa température absolue (θ^4) par son pouvoir absorbant (a) par exemple $= \frac{1}{2}$ ou $\frac{1}{4}$...

Un corps placé dans une enceinte à surface polie et brillante (vase de Dewar) se refroidit très peu par rayonnement.

Influence de la grandeur de la surface sur la quantité de chaleur dégagée. — Étant donné un certain débit par unité de section du courant, le débit total est proportionnel à la section totale.

---

1. La quantité d'énergie rayonnée par un corps augmente très vite si on augmente la température. Si l'on multiplie par 2 la température absolue du corps qui rayonne, l'énergie perdue est seize fois plus grande.

Pour le corps d'un animal « la radiation calorique est proportionnelle exactement à la surface cutanée et non au volume du corps.

» Supposons, en effet, qu'il s'agisse d'un corps inerte ; sa radiation sera, conformément à la loi de Newton, égale à la différence des deux températures mul tipliée par sa surface :

$$S\ (t-t')$$

» En supposant $(t-t')$ constant ou peu variable, il s'en suit que la radiation calorique est proportionnelle à la surface. Or, j'ai pu prouver que les chiffres calorimétriques expérimentalement obtenus sont tels que l'unité de surface dégage toujours à peu près la même quantité de calories (1). »

Les gros animaux rayonnent donc moins de chaleur que les petits proportionnellement à leur poids. En effet lorque les surfaces croissent comme les carrés, les volumes (et les poids) croissent comme les cubes.

§ 4. — *Évaporation*

Enfin, parmi les causes qui peuvent avoir une influence sur le courant de chaleur régnant dans un cadavre (chauffé par une circulation d'un liquide chaud selon notre supposition, et dépourvu de tout moyen de régulation),— il faut citer les changements d'états, par exemple l'évaporation d'humidité qui pourrait exister à sa surface.

1. *Dictionnaire de Physiologie* de Richet, mot « Chaleur », p. 130.

CHAPITRE II

COMPLICATIONS QUI DISTINGUENT LE COURANT PHYSIOLOGIQUE D'UN SIMPLE COURANT PHYSIQUE DE CHALEUR

SOMMAIRE

Première section. — Transport de la chaleur des couches profondes de l'organisme jusqu'à la face interne de la peau, p. 150. — § 1. Transport par conductibilité, p. 150. — § 2. Transport par convection, p. 150.
Section II. — Passage de la chaleur à travers la peau, p. 152.
Section III. — Régulation de l'émission finale de la chaleur dans le monde extérieur, p. 154. — §§ 1 et 2. Conductibilité et convection, p. 154. — § 3. Régulation du rayonnement, p. 155. — § 4. Évaporation, p. 157.

Ce deuxième cas diffère du premier cas traité dans le chapitre précédent par une circonstance essentielle.

L'organisme, que nous étudierons maintenant, est vivant et capable de modifier de lui-même ses courants de conduction, de convection et de rayonnement, sous l'influence de certaines excitations. — Ce n'est plus la résistance inerte du cas précédent, c'est une résistance variable, qui vient compliquer les

effets des variations de niveau et de résistance du milieu extérieur (1).

Pour mettre mieux en évidence les différences qui résultent de ce fait nouveau de la régulation, nous adopterons les mêmes divisions que pour le chapitre précédent.

PREMIÈRE SECTION

Transport de la chaleur des couches profondes de l'organisme jusqu'à la face interne de la peau

§ 1. — *Transport par conductibilité*

La conductibilité des tissus peut varier selon qu'ils sont plus ou moins irrigués par le sang. D'après le tableau dressé par Bordier (2), le tissu sanguin est un des moins résistants pour le courant de chaleur.

§ 2. — *Transport par convection*

Les auteurs (3) ont consacré de longues recherches

---

1. L'animal homéotherme, dont l'organisme, en raison même de son perfectionnement, est assez fragile, doit maintenir son milieu intérieur à température constante, sous peine d'entraver toutes les réactions nécessaires pour la vie. Il assure cette constance par un ensemble de moyens de RÉGULATION (modifications dans la circulation du sang, dans l'évaporation, dans la respiration).

2. V. ci-dessus, p. 139.

3. Claude Bernard, *Leçons sur la chaleur animale*. Pa-

à l'étude de la régulation du courant de chaleur par les vaso-moteurs.

Il est certain que la circulation périphérique du sang se trouve modifiée sous l'influence de certaines excitations. Nous en avons la preuve dans l'hyperhémie qui apparaît à travers la peau, au moment où se produisent ces excitations. Il existe alors une vaso-dilatation des vaisseaux.

Le débit d'énergie calorique est beaucoup augmenté, et si le courant de déperdition n'augmente pas parallèlement, le niveau de température de la peau tend à s'élever.

Mais, chose curieuse, cette hyperhémie apparaît aussi bien pour les températures (du milieu extérieur) inférieures à 25 degrés que pour les températures supérieures à 35 degrés. Le chaud agit dans le même sens que le froid sur la circulation du sang. C'est seulement dans l'intervalle, entre les deux tem-

ris, Baillière, 1876, p. 326 (corde du tympan). — Féré, *Sur l'expérience de Brown-Séquard et Tolozan* (Société de Biologie, 1889, p. 472).— Vulpian, *Leçons sur les vaso-moteurs*. Paris, 1875.— Fr. Franck, *Du volume des organes en rapport avec la circulation du sang* (*Travaux du laboratoire de Marey*, t. II, 1876). — Richet, *Dictionnaire de Physiologie*, mot « Chaleur », p. 169. — Ugolino Mosso (frère d'Angelo Mosso), *Action du chaud et du froid sur les vaisseaux* (*Archives italiennes de Biologie*, juin 1889).— Morat et Doyon, *Circulation* (*Traité de Physiologie*, p. 199). — Lefèvre, *Action hyperhémiante cutanée du froid* (*Biologie*, 3 janvier 1900). — Hallion et Comte, *Vaso-constriction avec rougeur de la peau, particulièrement sous l'influence du froid* (Société de Biologie, 16 décembre 1899).

pératures indiquées, que le débit de sang diminue à la face profonde de la peau (1).

En cas de froid, l'augmentation du débit de chaleur a pour but de secourir la peau et d'empêcher un organe si important de se refroidir d'une façon dangereuse pour son intégrité. — En cas de chaleur extérieure excessive le courant thermique apporte des calories qui vont être transformées en énergie de changement d'état lors de l'évaporation de la sueur.

SECTION II

Passage de la chaleur a travers la peau

La peau, fortement irriguée de sang dans l'hyperhémie de régulation, devient plus conductrice. — De même lorsqu'elle est imprégnée de sueur.

Il en est de même encore pour les fourrures et les vêtements. Ils deviennent une moindre résistance au courant de chaleur, une moins bonne protection contre le refroidissement lorsqu'ils sont imprégnés de sueur ou d'eau (2).

1. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 487. — La théorie classique admettait que sous l'influence du froid la peau s'anémiait afin de diminuer les pertes de chaleur par rayonnement (*Dictionnaire* de Richet, « Chaleur », p. 167).

2. Voir page 142. La conductibilité thermique de l'eau est représentée par le nombre 0,001 et celle de la peau par le nombre 0,00060.

C'est ainsi qu'un coureur en pleine transpiration et qui s'arrête dans un endroit frais, au milieu d'un courant d'air, se sent bientôt glacé.

Lefèvre a étudié l'influence de la peau sur le courant de chaleur aux différentes températures (1).

Voici les conclusions auxquelles il arrive (*Chaleur animale*, p. 399) :

1° La peau est deux fois moins conductrice, c'est-à-dire qu'elle résiste deux fois mieux lorsque le milieu extérieur est à 5 degrés que lorsqu'il est à 30 degrés.

2° Le pouvoir émissif (coefficient de déperdition superficielle) de la peau au contact de l'eau est indépendant de la température extérieure et reste le même à 5 degrés qu'à 30 degrés.

3° Le coefficient de conductibilité entre les couches musculaires et la face profonde de la peau (coefficient de réchauffement profond) croît rapidement quand la température du milieu s'abaisse.

Cette conductibilité profonde est environ six fois plus grande lorsque le milieu extérieur est à 5 degrés que lorsqu'il est à 30 degrés (2).

---

1. Lefèvre plongeait son sujet dans des bains d'eau plus ou moins froide. Il prenait la température de la surface de la peau au moyen d'un couple thermo-électrique plat, — et la température des couches musculaires profondes au moyen d'une aiguille thermo-électrique. Voir Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 304 et surtout *Archives de Physiologie*, janvier 1898.

2. « Ce processus n'est nullement comparable à cette résistance de vaso-constriction, postulée par les auteurs, lorsqu'ils admettaient que le froid chasse le sang et la chaleur de la périphérie

SECTION III

Régulation de l'émission finale de la chaleur dans le monde extérieur

§§ 1 et 2. — *Conductibilité et convection.*

La conductibilité du milieu extérieur, ni ses courants de convection ne dépendent du sujet. Leur étude ne fait donc pas partie de celle de la régulation naturelle.

Mais on pourrait parler d'une régulation artificielle du monde extérieur à ce point de vue. Elle consiste à prendre des vêtements épais lorsqu'il fait froid et légers par la chaleur, — à fuir les courants d'air et à chauffer son habitation dans le premier cas, à rechercher l'ombre, les bains froids... l'été.

---

vers le noyau central de l'organisme. En effet, en rapprochant la première et la troisième loi, nous constatons que la peau est d'autant mieux échauffée et secourue du côté interne qu'elle est plus exposée au froid... — Mais en même temps qu'elle résiste d'autant mieux à la déperdition... afin d'économiser à l'organisme la chaleur qu'elle prodigue pour sa défense.

De ces deux actions contraires, c'est d'ailleurs la première (sextuplée) qui l'emporte évidemment sur la seconde (réduite seulement de moitié) ; de sorte que l'analyse du jeu de la conductibilité cutanée nous amène d'avance à penser que la déperdition doit s'accélérer au froid. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 399.

§ 3. — *Régulation du rayonnement*

Il n'en est pas de même du rayonnement, qui est susceptible d'une régulation naturelle. Il dépend, en effet, à la fois, de l'état du sujet et de l'état du milieu extérieur.

Article premier

Variations dans la différence de température et dans l'état de la surface d'émission.

A la surface de la peau s'opère une transformation de l'énergie de conductibilité thermique (qui est une énergie vibratoire de la matière) — en énergie vibratoire de l'éther (énergie rayonnée).

La grandeur de cette transformation dépend : 1° de la différence de température entre les deux milieux ; 2° de l'état de la surface de séparation.

1° Or, la température de la peau dépend d'un mécanisme de régulation, ainsi que nous l'avons vu dans la précédente section (1).

1. Pour avoir une différence de température, il faut deux corps chauds en présence. Dans le rayonnement, il y a, d'une part, la peau et, de l'autre, l'éther. Il serait bizarre de parler de la température de l'éther. En réalité, il s'agit de la température d'un second corps matériel qui est plongé dans l'éther (eau, air...), et qui envoie au premier corps une énergie rayonnée de sens contraire capable d'y développer de la chaleur. Ce gain de chaleur pour le premier corps vient en déduction de la chaleur qu'il perd par transformation en énergie rayonnée.

2° *État de la surface.* — Dans le cas de deux corps séparés par le vide, le rayonnement dépend de l'état des deux surfaces. Lorsque ces deux surfaces sont en contact (peau et eau — peau et air), il en est encore de même.

De ces deux surfaces en présence, celle de la peau se modifie sous l'influence de la régulation.

Cette modification de la surface de la peau réduisant son pouvoir émissif — agit en sens inverse de l'augmentation de différence de température.

C'est pour cette raison que la loi de Newton ne peut pas s'appliquer à un organisme vivant. Elle suppose que la nature de la surface d'émission ne se modifie pas.

Article 2

Variation de la grandeur de la surface d'émission

La régulation ne fait pas seulement varier la nature de la surface d'émission, et par conséquent le débit de chaleur par unité de surface. — Elle peut encore faire varier le nombre total d'unités de surface du corps. Par un froid intense, on se recroqueville instinctivement, on courbe le dos, ramenant la tête sur la poitrine, on serre les coudes au corps.

Par la chaleur, c'est l'inverse, le corps se dilate, offre au contact du milieu extérieur la plus grande surface possible,

§ 4. — *Évaporation*

Chez l'animal vivant, la régulation du courant de chaleur peut encore s'opérer par transformation d'énergie calorique en énergie de changement d'état, c'est-à-dire en l'espèce par évaporation (1).

Cette évaporation peut avoir lieu à la fois par la surface cutanée et par le poumon.

Chaque litre d'eau évaporé à 35 degrés enlève à l'organisme 580 grandes calories (2).

Article premier

Sudation à la surface de la peau

Cette sudation dépend d'un mécanisme de régulation. Fredericq plaçait un sujet nu dans une pièce à 15 degrés et lui faisait respirer par un embout de l'air chaud. Une sueur abondante apparaissait bientôt (3).

Les expériences de Weyrich (cité par Fr. Frank) donnent une idée de l'importance de la sudation (4).

---

1. Cette évaporation fait le vide en quelque sorte en aval du courant de chaleur, supprime la résistance du fluide accumulé dans le canal ; donc augmente beaucoup le débit (comparaison avec un courant d'eau).

2. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 476.

3. Fredericq, *Régulation de la température des animaux à sang chaud* (*Archives biol. belges*, 1882).

4. *Dictionnaire de Physiologie* de Richet, mot « Chaleur », p. 175.

	Grammes de sueur par heure	Nombre de calories soustraites par évapor.
	—	—
Mouvements modérés dans l'appartement.	7,6	4.065
Mouvements modérés au soleil.....	21,8	11.728
Mouvements violents au soleil.....	28,3	15.225

Ainsi s'explique qu'un homme bien portant puisse rester une heure dans une étuve sèche à 60 degrés et, même quelques instants, dans une étuve sèche à 140 degrés.

Une température beaucoup plus basse serait bientôt mortelle si elle était humide, car le refroidissement par évaporation serait impossible (1). L'écoulement du courant de chaleur se trouvant obstrué, le niveau de température monterait rapidement.

Article 2

Évaporation à la surface du poumon
Refroidissement dépendant de la respiration

Lorsque la température intérieure tend à s'élever, la respiration s'accélère (polypnée).

C'est le professeur Ch. Richet qui, le premier, a établi une théorie complète sur cette question, en montrant que la polypnée n'est pas dans ce cas un fait pathologique, une dyspnée, mais que, au con-

1. *Dictionnaire de Physiologie* de Richet, « Chaleur », p. 174. On ne peut pas supporter un bain dont la température dépasse 44 degrés.

traire, elle exige que la respiration soit alors exempte de toute gêne et puisse procurer à l'organisme tout l'oxygène dont il a besoin (1).

Nous étudierons plus loin le caractère réflexe de la polypnée.

D'après le professeur Richet, la perte d'eau moyenne par la respiration chez un sujet au repos, est de 9 gr. 35 par 10 kilos de poids du sujet et par heure (2).

En cas de travail musculaire, la perte en eau augmente jusqu'à 18 grammes et même jusqu'à près de 111 grammes par 10 kilogrammes et par heure (après une course très rapide) (3).

La polypnée et la sudation sont deux fonctions qui se suppléent l'une l'autre : le chien, dont la peau ne produit pas de sueur, a une polypnée caractéristique pouvant aller jusqu'à 400 respirations par minute. L'homme, qui n'a pas de polypnée importante, est au contraire, capable de suer abondamment.

1. *Dictionnaire de Physiologie* de Richet, « Chaleur », p. 176.
2. *Dictionnaire de Physiologie*, p. 184.
3. *Dictionnaire de Physiologie*, p. 185. — Chez une hystérique, étudiée par MM. Richet et Pierre Janet, la perte de chaleur par évaporation d'eau était presque nulle.

CHAPITRE III

DU COURANT DE CHALEUR

COMME MOYEN D'ASSURER LA CONSERVATION DES EFFETS CATALYTIQUES DE L'ÉNERGIE CALORIQUE DANS L'ORGANISME

(De la Régulation)

SOMMAIRE

SECTION PREMIÈRE. — Action catalytique de la chaleur dans l'organisme, p. 160.

SECTION II. — Nécessité d'un courant de chaleur pour maintenir constant le niveau statique de température, p. 164.

SECTION III. — Schéma de la régulation thermique, p. 165.

PREMIÈRE SECTION

ACTION CATALYTIQUE DE LA CHALEUR DANS L'ORGANISME

Ces effets sont dus à la *seule présence* de l'énergie calorique et sont obtenus à la seule condition que l'énergie atteigne un certain niveau de température. Peu importe l'extensité de cette chaleur, la quantité totale de calories contenues dans un corps, pourvu que la capacité soit assez petite pour que le niveau soit atteint.

Du reste, cette énergie calorique agit *sans s'user ;* c'est pour cette raison que nous employons dans ce cas l'épithète de *catalytique* (1).

En principe, l'action de la chaleur sur l'organisme se ramène à une modification des réactions chimiques. Le corps vivant est une machine qui transforme l'énergie chimique en énergie de mouvement (2).

1. Une comparaison peut nous guider.

L'énergie électrique a trois ordres d'effets possibles :

1° *Effets catalytiques.*— De l'électricité immobile placée sur une sphère, attire une autre sphère chargée d'électricité de même nom. Pourtant ces charges ne s'usent pas. Il n'est pas nécessaire de mettre ces sphères en communication avec une source débitant sans cesse de l'électricité.

Mais il y a des effets que vous n'obtiendrez pas de la sorte. Communiquons une charge au fil bien isolé qui entoure un électro-aimant, nous ne l'aimanterons pas.

2° *Effets d'un courant de régime.*— Il peut déjà servir à maintenir la sphère à potentiel constant. Mais, de plus, circulant dans un fil autour de l'électro-aimant, il le maintient constamment aimanté.

Cependant, un tel courant de régime est incapable de produire certains effets. S'il passe depuis quelques instants dans le circuit primaire d'une bobine d'induction, aucun phénomène électrique n'existera dans le circuit secondaire.

3° *Effets d'un courant varié* : — Mais faites varier sans cesse le courant dans le primaire de la bobine, vous aurez continuellement un courant d'induction dans le secondaire.

Trouverions-nous des distinctions analogues pour les effets de l'énergie calorique ?

2. Un exemple très simple nous permettra de constater l'action catalytique de la chaleur sur les réactions chimiques. Nous voulons allumer du feu dans notre cheminée. Le feu est la manifestation d'une transformation chimique qui consiste dans le passage de l'état de bois par exemple à l'état de gaz CO^2, etc... Ce changement chimique ne peut s'accomplir qu'à une certaine température. Tant qu'elle n'est pas obtenue, le feu refuse de prendre. Comme votre allumette ne dégage guère de calories, il ne faut

Que l'excitation thermique soit nécessaire pour l'entretien de la vie, c'est ce que les faits démontrent surabondamment. Il suffit de voir les différences produites par le passage de l'été à l'hiver chez les végétaux, chez les animaux à sang froid, chez les animaux à sang chaud hibernant (marmotte).

Les fermentations sont arrêtées par le froid. L'industrie frigorifique, précisément aujoud'hui, offre un moyen de ralentir la vie pour assurer la conservation des matières organiques. Les viandes, les fruits peuvent être transportés à des distances considérables sans que le retard apporté à leur consommation nuise aucunement à leurs qualités alimentaires.

On pourrait établir une relation entre la température et la durée, le froid étant un moyen d'arrêter le cours du temps, d'empêcher le vieillissement. Dans les glaces arctiques on a retrouvé des mammouths parfaitement conservés avec leur chair et leur toison depuis des milliers d'années.

Sur la platine chauffante d'un microscope on peut suivre les changements qui surviennent dans l'activité des infusoires ou des amibes sous l'influence de la variation de température. Au-dessous de 10 degrés en moyenne, le protoplasma devient *raide de froid* (Verworn) (1).

---

mettre en sa présence que des corps mauvais conducteurs et de faible masse, afin que, la capacité étant très petite, le niveau s'élève néanmoins suffisamment.

1. Verworn, *Allgemeine Physiologie*. Iéna, 1897. — Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 237.

Vers 30 ou 35 degrés commence la rigidité due à la chaleur.

Dans les organismes pluricellulaires, la chaleur agit différemment selon les tissus. En général, la cellule des êtres supérieurs ne peut vivre que dans des limites de températures plus étroites, que celles admises par les êtres monocellulaires.

Le cœur des mammifères pourrait encore vivre avec un rythme ralenti à 16°5 et avec des battements accélérés à 44 degrés. On connaît le pouls rapide qui, chez les fébricitants, accompagne l'élévation de température.

Pour les muscles striés de la vie de relation, ils deviennent plus excitables à mesure que la température s'élève (1). Vers 45 degrés, on atteint le point de rigidité. Au delà de 60 degrés les albumines se coaguleraient définitivement.

La fibre nerveuse supporte sans dommage des températures qui paralyseraient le muscle. Du reste, les nerfs sensitifs sont plus fragiles à ce point de vue que les nerfs moteurs.

Aux basses températures l'acte réflexe se fait de plus en plus lentement.

1. Différence des temps de réaction chez les grenouilles d'été et chez les grenouilles d'hiver.

SECTION II

Nécessité d'un courant de chaleur pour maintenir constant le niveau statique de température

Voici donc bien établie la nécessité d'une charge thermique, proportionnée à la capacité du corps de façon à donner un niveau de température de 37 degrés environ.

Il semblerait qu'il suffise à cet effet d'une quantité de chaleur une fois fournie à l'organisme, puisque ce dernier ne consomme pas la chaleur, ne la transforme pas en mouvement comme les machines à feu (1).

Mais il y a toujours des pertes par défaut d'isolement, pertes variables avec la température du milieu extérieur, l'état de la surface cutanée...

Il est donc nécessaire que la charge thermique du corps soit entretenue par un courant continuel d'apport de calories.

Ce courant de chaleur a deux sources dans l'organisme :

1° Une partie seulement de l'énergie chimique dégagée dans la décomposition des substances alimentaires sert à produire de l'énergie de mouvement. Le surplus est transformé immédiatement en énergie thermique.

1. *Réflexions sur la puissance motrice des machines à feu*, Sadi-Carnot.

Il y a chez l'homme, même au repos complet, une *production inévitable* de chaleur qu'on peut évaluer à 1450 ou 1500 calories par vingt-quatre heures d'après Lefèvre (p. 472).

Dans ces conditions, si les fuites naturelles de chaleur ne sont pas suffisantes, il faut un trop-plein pour évacuer l'excès de chaleur avant que le niveau ait eu le temps de monter.

Deuxième source. — Et ceci est d'autant plus utile qu'il existe une autre source de chaleur dans l'organisme. Un second courant d'énergie thermique est le résultat d'un *déchet* dans l'utilisation de l'énergie cinétique. Par les mouvements, le sujet a réalisé certains changements dans le monde extérieur, mais à cause des frottements, toute l'énergie mécanique n'a pas été dépensée utilement ; une partie s'est transformée en chaleur (1).

SECTION III

Schéma de la régulation thermique

Supposons un réservoir de capacité constante. Nous avons un courant d'entrée et un courant de sortie.

Le courant d'entrée ne peut jamais être entièrement

1. Cette source de chaleur peut être fort utile ; dans le cas d'un froid intense, le frisson est un moyen de relever la température du corps (*Dictionnaire de Physiologie*, de Richet, « Chaleur », p. 172).

supprimé. On ne peut donc pas se passer d'un courant de sortie.

Article premier

Déperdition normale

Pour que le courant de sortie naisse de lui-même (courant automobile), il faut que le niveau dans le réservoir soit plus élevé que le niveau dans le monde extérieur. Un milieu à 10 degrés attirera naturellement les calories d'un organisme à 37 degrés.

Article 2

Déperdition supplémentaire

Premier cas. — Mais la déperdition ordinaire (1) peut être impossible. Si la température du monde extérieur est de 37 degrés, le courant automobile d'évacuation de la chaleur cessera de couler, — l'organisme devra trouver un mode d'évacuation supplémentaire.

Il en serait de même *a fortiori* si la température extérieure était supérieure à celle du corps. C'est ainsi que, lorsqu'on veut retirer l'eau qui a envahi une cave, on ne peut pas compter sur l'écoulement naturel ; il faut employer un moyen extraordinaire,

1. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 377.

une pompe, pour remédier au vice des différences de niveau.

Deuxième cas. — Sans être nulle, la déperdition directe peut être insuffisante. — A côté de la question de niveau, il y a une question de quantité.

Si le courant d'entrée débite beaucoup de calories, il faut que le courant de sortie en débite un nombre égal. Or, ce débit de sortie ne dépend pas seulement de la différence de niveau entre le réservoir et la nappe extérieure, c'est-à-dire de la *charge ;* il dépend encore de la *section* du tuyau de sortie, c'est-à-dire de sa conductibilité.

Une chute de 2 ou 3 degrés (qui suffirait pour assurer une déperdition ordinaire avec un milieu assez bon conducteur et de grande capacité thermique comme l'eau), — deviendra tout à fait insuffisante si le milieu extérieur est constitué par de l'air immobile (1).

En pareil cas, l'organisme doit encore recourir aux procédés de la déperdition supplémentaire

Quels sont ces procédés ? Nous les avons énumérés au chapitre précédent. C'est l'hyperhémie de la peau, la sudation et la polypnée.

1. L'hyperhémie de la peau par exemple apparaîtra seulement dans *un bain* à 35 degrés (hyperhémie de chaleur) ; dans *l'air calme* chez un homme au repos, moyennement vêtu, elle se montrera vers 20 degrés et dans un *courant d'air* la coloration de la peau ne changera qu'à 26 degrés pour un sujet habillé, à 31 degrés pour un homme nu.

Si le sujet se livre à un violent travail, l'hyperhémie de chaleur peut être très marquée alors que l'atmosphère est à 0 (Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 475).

Ce qui précède concerne la lutte contre l'élévation exagérée de température. Voyons maintenant le cas d'un abaissement excessif de température.

Lutte contre le refroidissement

Troisième cas. — Le courant de sortie accroît son débit de plus en plus. A l'origine, il ne donnait par exemple que 10 litres d'eau par minute comme le courant d'entrée. Maintenant le courant de sortie débite 20 litres par minute.

Le niveau du réservoir va baisser et cela d'autant plus vite que la surface horizontale du réservoir est plus petite. L'animal se refroidit et nous entendons ici, par cette expression, non pas seulement qu'il perd des calories, mais que son niveau de température baisse.

En quoi peut consister la régulation dans ce cas ? Deux procédés peuvent être employés :

1° Fermer en partie le robinet de sortie du réservoir, — en diminuant les courants de convection, de conductibilité et de rayonnement ;

2° Ouvrir plus grand le robinet d'entrée, — en augmentant la production de chaleur.

CHAPITRE IV

DU COURANT DE CHALEUR

EN TANT QU'IL PRODUIT DES EFFETS CINÉTIQUES OU DE CHOC DANS L'ORGANISME

SOMMAIRE

Première section. — Cas d'un refroidissement atteignant les couches profondes de l'organisme, p. 173. — § 1er. Effets cinétiques d'un tel courant, p. 173 — § 2. p. 176: Effets d'un refroidissement rapide, p. 178. — Effets d'un refroidissement lent, p. 182. — § 3. Mécanisme de production d'un courant de sortie capable d'abaisser la température des couches profondes de l'organisme, p. 186. — § 4. Vraie cause de l'accélération de la thermogénèse, p. 188.

Section II. — Cas d'un refroidissement limité aux couches superficielles du corps, p. 191. — § 1er. Possibilité d'effets graves résultant d'un refroidissement superficiel. — § 2. Mode d'action de l'énergie calorique dans ces phénomènes réflexes, p. 195. (Énergie de simple déclanchement.)

Nous venons de constater que le courant de chaleur contribue indirectement à assurer les effets catalytiques de l'énergie calorique dans l'organisme, par le fait que ce courant maintient constant le niveau utile de température.

Mais nous estimons qu'il ne faut pas s'arrêter seulement à la considération de ce premier effet. Le courant de chaleur peut aussi produire des pertur-

bations graves dans le fonctionnement du système nerveux, circulatoire, respiratoire.

Si le courant de sortie de chaleur restait toujours égal au courant d'entrée (courant de régime), il y aurait sans doute bien peu de différence entre les effets d'un courant de chaleur et ceux d'une charge *statique* d'énergie calorique. — Mais dès l'instant que le courant varie, il se produit des effets *dynamiques*.

Par cela même qu'il peut mettre en mouvement un mécanisme physiologique de régulation, capable de changer les conséquences naturelles des circonstances physiques, — le courant de chaleur peut avoir des effets autres que des effets purement caloriques (1).

Cette réaction aux variations du courant de chaleur, organisée dans le but purement statique de maintenir constant un niveau, doit donc avoir, en outre, des résultats tout autres et parfois imprévus.

On pourrait être porté à croire qu'un refroidissement résulte toujours de ce fait que la température du corps s'est abaissée.

C'est l'éternelle équivoque sur le mot refroidissement (2) qui désigne tantôt une chute de température et tantôt une perte de calories.

1. Chez les poïkilothermes le froid ralentit l'activité des cellules qui produisent alors de moins en moins de chaleur. Chez les homéothermes, au contraire, le froid excite l'activité des cellules, augmente la thermogénèse.

2. Dans le langage ordinaire, on dit qu'un morceau de cuivre à 10 degrés est plus froid qu'un morceau de bois à 10 degrés. On pourrait ajouter que le bloc de cuivre est d'autant plus froid qu'il est plus gros.

Il faut bien reconnaître, au point de vue médical, qu'il peut y avoir refroidissement grave sans que la température du corps ait subi une chute appréciable.

Du reste, il faudrait préciser ce qu'on entend par la température du corps.

Pour dire qu'un organisme s'est refroidi, il ne suffira pas de constater que la couche superficielle de sa peau est devenue moins chaude ; — il faudra s'assurer que les organes profonds, le foie, le rectum se sont refroidis.

Et pourtant, même si la peau seule a perdu quelques degrés de température, même si (l'ensemble de la peau ne variant pas) quelques terminaisons nerveuses, isolées caloriquement, ont subi l'atteinte du froid, cela peut suffire pour produire de graves réflexes, qui sont sous la dépendance de l'état thermique du milieu.

Il faut distinguer le froid purement superficiel du refroidissement des couches profondes de l'organisme.

Ce qui intéresse le médecin, c'est surtout le refroidissement superficiel. C'est seulement par exception qu'il se trouve en présence d'un homme dont la température centrale est tombée à 30 degrés. Il faudrait que le sujet eût été précipité dans une eau glacée comme celle dans laquelle Lefèvre plongeait les chiens en expérience, ou bien eût été surpris dans une tourmente de neige.

Cependant la fièvre nous présente dans la pratique courante des échauffements des couches profon-

des de l'organisme, — et le traitement de la fièvre par la balnéation pourrait nous offrir à titre accidentel des abaissements graves de la température centrale.

En somme, dans l'immense majorité des cas, ce qu'on désigne par le mot *refroidissement*, c'est l'abaissement purement superficiel et souvent très éphémère de la température du corps.

Dans tous les cas d'angines, de congestions cérébrales ou pulmonaires, de pleurésie, de pneumonie, de névralgie, de rhumatismes attribués au froid, — y a-t-il eu à l'origine une chute de la température centrale (rectale par exemple) constatable au thermomètre ? C'est fort douteux.

Si l'on recherchait, pour chaque cas particulier, la cause occasionnelle de ces affections, on trouverait presque toujours un très léger refroidissement de la peau, procuré par un courant d'air qui n'a duré que peu d'instants, et qui a suffi pour ébranler le système nerveux, pour affaiblir la résistance de l'organisme dans sa lutte contre les microbes. — Combien de pneumonies ont pour origine un simple coup de vent subi par le sujet au tournant d'une rue (1) !

Nous examinerons successivement les deux cas suivants :

1° Celui d'un refroidissement atteignant les couches profondes de l'organisme ;

1. Le trouble apporté aux terminaisons nerveuses de la peau par un refroidissement superficiel suffit à expliquer les réflexes les plus compromettants pour notre santé.

2° Celui d'un refroidissement restant limité aux couches superficielles.

C'est le deuxième cas qui nous permettra le mieux de mettre en lumière les effets *cinétiques* de la variation de courant. — Dans le premier cas ils sont masqués en partie par les effets catalytiques dus au changement de température du corps.

PREMIÈRE SECTION

Cas d'un refroidissement atteignant les couches profondes de l'organisme

§ 1. — *Effets cinétiques d'un tel courant*

Parmi les effets cinétiques du courant qui est capable de refroidir les couches profondes de l'organisme, on remarque principalement :

1° L'effet de thermogénèse ;

2° Les effets de vaso-constriction et de vaso-dilatation qui font que la chaleur, existante dans le corps, est localisée tantôt dans une couche surtout, tantôt dans une autre.

Voici l'hypothèse : un homme adulte, dans les conditions normales, fournit un courant de débit d'environ une grande calorie et demie par minute (1).

1. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 511 et 531.

Nous supposons que les circonstances physiques se trouvent modifiées.

Maintenant le courant de sortie est de 10 calories par minute.

Comment cet homme fournira-t-il un tel courant sans que son niveau de température baisse ?

Il prendra de deux côtés les calories dont il a besoin :

A.— Dans sa réserve d'énergie calorique statique, qui est d'autant plus grande que son corps a une plus grande capacité.

B.— Dans ses réserves d'énergie chimique, qu'il transforme en énergie calorique. C'est ce qu'on appelle la thermogénèse.

A.— Étant donné que sa capacité calorique (que la surface horizontale du réservoir) ne peut pas se restreindre,— il ne peut pas dépenser de ces calories préformées sans que le niveau de température baisse ; mais cette chute ne se répartit pas uniformément dans toute l'étendue du corps ; l'organisme préfère supporter une baisse plus considérable dans certaines régions, afin de conserver un niveau normal à d'autres régions.

Le réservoir est cloisonné. Le premier barrage, celui qui protégeait la peau, est sacrifié ; c'est la peau qui fait la première mise de calories (pour combler le déficit) et son niveau baisse beaucoup.

Nous verrons, d'après les expériences de Lefèvre,

qu'à d'autres périodes de la lutte, ce sont les couches profondes qui se sacrifient pour secourir la surface cutanée.

B. — *Effet de thermogénèse*

Il faut considérer deux choses :

1° La *quantité d'énergie calorique totale* que l'organisme peut fournir ;

2° La *puissance*, ou quantité d'énergie qu'il peut fournir *par minute*.

Nous verrons qu'un homme adulte et bien portant peut dégager, sans refroidir ses couches profondes, 600 calories en trois heures, et même dans les cas graves 280 calories en douze minutes.

Mais il n'en résulte pas qu'il puisse fournir 1000 calories par minute (1). Si le milieu physique extérieur était tel qu'il put soustraire à l'organisme une pareille quantité de calories à la minute, il est pro-

---

1. Étant donnée une provision d'énergie, 3000 calories par exemple, on peut la considérer comme le produit de deux facteurs : la durée de temps — et la puissance (le débit, la puissance par unité de temps).

Or l'accroissement de l'un de ces facteurs peut être compensé par la diminution de l'autre. Une somme que j'ai dans ma caisse durera plus longtemps si je réduis le montant de ma dépense par semaine.

Dira-t-on de même que l'organisme peut dépenser très vite toutes ses réserves au besoin, quitte à ne pas prolonger longtemps la lutte ? — Ce ne serait pas toujours vrai. Les réserves ne son pas toujours instantanément mobilisables. Elles le sont plus chez l'animal bien portant et déjà exercé à ce genre de réaction.

bable que la thermogénèse ne pourrait pas commencer la lutte.

C'est l'exemple déjà plusieurs fois cité de la résistance arrivant en retard, de la nation, qui pourrait mettre sur pied une armée formidable, mais qui a besoin d'un mois pour la mobiliser. Elle est battue dans les quinze premiers jours. L'irréparable s'est produit. Ses réserves non équipées sont inutilisables ensuite. — De même surpris par un courant de sortie à trop grand débit, l'animal est mort d'avoir pu utiliser ses réserves.

§ 2. — *Effet d'un refroidissement rapide. Effet d'un refroidissement lent.*

Si nous voulons pousser plus loin l'analyse des effets de nos courants, il faut encore sous-distinguer.

Il y a deux sortes de refroidissements parmi ceux qui sont capables de pénétrer jusqu'aux couches profondes de l'organisme :

1° Les refroidissements *rapides*, c'est-à-dire ceux qui seraient rapides s'il n'y avait pas de régulation.

2° Les refroidissements *lents*, c'est-à-dire ceux qui seraient lents en l'absence de régulation.

Étant donné qu'ils sont compensés l'un comme l'autre (au moins dans une première période) par le mécanisme homéotherme, en quoi diffèrent-ils entre eux ?

I. — C'est par le *débit de calories* qui est énorme dans le premier cas (jusqu'à 80 calories par minute au début) et moindre dans le second cas (3 à 4 calories par minute);

II. — C'est encore par la température du milieu extérieur qui est beaucoup plus basse dans le premier cas que dans le second ;

III. — Par la durée de la période de résistance efficace à tout refroidissement central — qui ne dépasse pas un quart d'heure dans le premier cas ;

IV. — Enfin, lorsque la compensation devient insuffisante, dans les refroidissements qualifiés de *rapides*, la chute de température des couches profondes de l'organisme est considérable et peut devenir bientôt mortelle (au-dessous de 25 degrés).

Dans le refroidissement *lent*, au contraire, l'abaissement final de la température centrale ne dépasse pas 2 ou 3 degrés au bout de deux heures et en aucun cas ne met la vie en danger.

ARTICLE PREMIER

Effets d'un refroidissement rapide

Première période — de résistance suffisante. — Lefèvre (1) plonge dans un bain à 4 degrés 40 un homme adulte et voici ce qu'il observe.

Temps	Température rectale	Calories débitées par le courant de sortie par minute	Calories fournies par la thermogénèse par minute
Après 0 minute.....	37°2	0	0
Après 1 minute.....	37°25	80.4	20.75
— 2 minutes.....	37°30	21.5	20.75
— 3 minutes.....	37°40	20.0	23.45
— 4 minutes..	37°42	18.3	19.13
— 5 minutes.....	37°43	18.1	18.59
— 6 minutes.....	37°44	18.1	18.59
— 7 minutes.....	37°45	18.0	18.59
— 8 minutes.....	37°45	18.0	18.05
— 9 minutes.....	37°43	18.0	16.97
— 10 minutes.....	37°40	18.0	16.43
— 11 minutes.....	37°30	18.0	12.65
— 12 minutes.....	37°20	18.0	12.65

1. *Chaleur animale*, p. 527.

Le débit de déperdition est d'abord énorme (80 grandes calories dans la première minute).

Mais comme le corps vivant est un réservoir à cloisons étanches, — c'est la peau qui fait tous les frais de cette perte ; la preuve en est que la température profonde du corps (rectale) n'a pas baissé dans cette minute.

Pendant la deuxième minute, le débit du courant de sortie tombe à 21 calories 5. — Le réservoir partiel, qu'était la peau s'est vidé brusquement. — Ce flot passé, il n'y a plus que le petit courant qui traverse l'ancien réservoir desséché ; le niveau est très bas en cet endroit ; la chute de chaleur, comme une chute d'eau, a eu lieu en amont à la limite séparative entre la peau et les couches profondes.

Troisième minute, — le débit de déperdition est de 20 calories. La température rectale monte toujours.

La peau se vide, du reste, de ses calories, mais de plus en plus lentement. Il n'y a plus assez de charge, de différence de niveau entre la peau et le monde extérieur.

Après la troisième minute, la déperdition devient presque un courant de régime. Ceci prouve que la nouvelle répartition topographique des températures en profondeur ne varie plus, — et pourtant la température intérieure du corps monte jusqu'à la septième minute.

Au bout de douze minutes, la température rectale est presque encore celle du début de l'expérience.

L'organisme a décuplé sa production normale de calories.

Deuxième période — de recul. — Si l'expérience se prolonge, les limites de la résistance sont dépassées, mais l'homéotherme forcé ne se refroidit pas comme un corps inerte en suivant les lois physiques.

L'animal, dans sa défense, observe la tactique suivante :

C'est la température de la peau qui baisse d'abord rapidement, puis elle devient homéotherme au-dessus de 18 degrés.

Ensuite, les régions profondes se refroidissent, cédant leur chaleur à la peau.

In extremis, lorsque la température centrale est voisine de 30 degrés, l'organisme fait un dernier effort pour ralentir la chute.

Au-dessous de 25 degrés, les températures des couches superficielles et profondes tombent parallèlement. La mort ne tarde guère à se produire (1).

Troisième période. — Réaction. — Si l'on n'a pas poussé trop loin l'expérience, on peut soustraire l'animal au danger qui le menace. Retirons-le du bain réfrigérant et observons ce qui se passe.

L'hyperthermie persiste après le bain. Grâce à elle, la température de la peau remonte en cinq minutes de 20 à 30 degrés. — Les régions profondes continuent à se refroidir.

La deuxième période, qui débute par le frisson

1. Voir les courbes de Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 544.

musculaire (1), est la réaction des couches profondes.

Il faut remarquer que la vitesse de réchauffement est deux fois plus grande à la suite d'un bain à 7 degrés qu'après un bain à 17 degrés (Lefèvre, p. 554).

Remarque. — La première impression donnée à l'organisme persiste longtemps et règle ses réactions, malgré une seconde impression différente qui surviendrait ensuite.

Lefèvre donne à un sujet un premier bain à 6 degrés et l'y maintient vingt-huit minutes. — Puis, dès qu'il sort de ce premier bain, il le plonge dans un deuxième bain à 18 degrés qui dure trente-six minutes.

« Nous assistons (fait curieux) à une réaction rapide dans le bain à 18 degrés, dans le même bain qui, employé seul, entraînerait la chute des températures (2). »

Après que le sujet est sorti du deuxième bain, la réaction à l'air s'opère plus vite que s'il n'y avait eu que le seul bain à 18 degrés.

En somme, l'effet salutaire du premier bain a persisté. Le deuxième bain n'a fait qu'atténuer ce bon effet.

---

1. *Transformation d'énergie mécanique en énergie calorique* (Voir *Dictionnaire* de Richet, mot « Chaleur », p. 172).

2. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 571.

Article 2

Effets d'un refroidissement lent

Première période. — Résistance suffisante. — A. — Lefèvre fait une première expérience dans un courant d'air à 5 degrés au-dessus de 0 (à la vitesse de 1 à 2 mètres par seconde). Il y maintient le sujet nu pendant trois heures et demie. A la fin de cette longue épreuve, la température rectale s'est un peu élevée.

« Sous l'excitation réfrigérante, la production à la minute s'est subitement élevée de 1,55 grande calorie (valeur normale de l'entretien) à 3 cal. 54 ; elle s'est élevée encore, comme l'indique d'ailleurs le mouvement de la température, jusqu'à dépasser 4 calories entre la dixième et la quinzième minute. Puis elle redescend un peu, mais reste quand même (à part un léger fléchissement entre les minutes 40 et 90) dans le voisinage de 3 calories. .

» La thermogénèse de l'homme vigoureux peut donc s'accommoder encore, d'une façon durable, à une dépense de 3 calories par minute » (Lefèvre, p. 531).

B. — Dans un bain à 7 degrés, la température axillaire (1) ne baisse pas pendant le premier quart d'heure. La thermogénèse entre la quatrième et la

1. L'aisselle étant hors du bain.

douzième minute fournit une moyenne de 9 calories par minute.

Dans un bain à 15 degrés, la température axillaire n'est pas descendue au-dessous de la normale au bout d'un quart d'heure. De la cinquième à la dixième minute, le débit du courant de sortie a été de 6 cal.-36 à la minute ; ensuite il est tombé à 5 calories jusqu'à la douzième minute, puis à 4 cal. 83.

Deuxième période — de recul. — Dans le courant d'air froid à 5 degrés, au bout de trois heures et demie, Lefèvre n'avait pas encore atteint cette période.

Avec les bains froids, on y arrive. — Prenons le bain à 7 degrés.

« ... Au bout de douze ou quinze minutes, la température du corps commence à baisser... Toutefois, cette chute n'est que passagère (1) ; en une demi-heure elle a cessé ; déjà la résistance se relève avec la thermogénèse ; et, comme s'il avait fait la part du froid, l'organisme quitte sa première ligne de défense à 37°5, passe à la seconde, et redevient homéotherme dans le voisinage de 36 degrés. »

Dans le bain froid à 15 degrés qui a duré trois heures, la thermogénèse a fléchi au bout de vingt minutes. Puis l'organisme se maintient deux heures à 36°75 (axillaire).

---

1. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 533. — Cette chute n'atteint pas un degré.

Entre les minutes 125 et 150, nouvelle défaillance de la thermogenèse. Le corps est encore force de vivre quelque temps sur son capital calorique : la température tombe à 36°50. Mais bientôt un reveil de la thermogenèse permet à ce niveau de se maintenir.

« Si l'expérience avait duré plus de trois heures, la même tactique se fût renouvelée plusieurs fois (1). »

Troisième période. — Réaction provoquée après la suppression de la cause réfrigérante. — L'effet dépend :

1° De la température qu'avait le milieu refrigérant ;

2° De la durée de son action ;

3° De l'état de santé du sujet ;

4° De son entraînement pour de semblables réactions.

Au bout de douze minutes, dans un bain à 6°8, un adulte vigoureux a conservé sa température rectale du début, 37 degrés. — Il sort de l'eau. — Au bout de vingt-cinq minutes, sa température rectale est tombée à 35°50 et reste à ce taux à peu près jusqu'à la quarantième minute. — A la minute 70, elle est remontée à 36°5. — A la minute 100, à 37 degrés. — A la minute 120, elle atteint 37°20 (2).

« Aussitôt après le bain, la périphérie, très fortement hyperhémiée, se réchauffe au détriment des régions profondes dont la température baisse. Cette première réaction circulatoire dure vingt à trente

1. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 536.
2. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 557.

minutes. Elle débute par une agréable impression de chaleur (dont le siège est extérieur), — et finit par une forte impression de froid (dont le siège est intérieur).

» Après cette réaction circulatoire commence seulement la réaction thermogénétique (deuxième réaction) qui ramène la température générale du corps à son niveau normal. »

Après avoir varié les conditions de ses expériences comme température de bains et comme durée, Lefèvre arrive aux conclusions suivantes :

1° La réaction produit dans tous les cas le minimum de température centrale entre la vingtième et trentième minute après la sortie du bain ;

2° La réaction est d'autant plus rapide que le bain était plus froid ;

3° Par calorie perdue, l'excitation thermogénétique est d'autant plus énergique que la température du bain était plus basse (Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 559).

Remarque sur l'influence dangereuse d'un bain à température modérée, quand le sujet doit être plongé ensuite dans un bain froid (*Bain double à refroidissement* de Lefèvre, p. 577).

Nous avons déjà vu, page 181, que la première impression (causée par un premier bain) persiste malgré l'action consécutive d'un second bain moins froid. L'organisme n'aime pas à changer trop souvent les dispositions de combat qu'il a prises. Dans le cas du second bain plus chaud cela n'avait pas

d'inconvénient. — Mais si le second bain est le plus froid, cette paresse d'adaptation peut avoir des conséquences mortelles.

L'animal, mis en expérience par Lefèvre, est transporté d'un bain à 19 degrés dans un bain à 6 degrés.

En peu de minutes, la température des couches profondes tombe de 10 degrés parce que le premier bain a déjà refroidi les couches superficielles et n'a pas excité suffisamment la thermogénèse. Celle-ci, n'ayant pas une couverture suffisante en énergie statique, n'a plus le temps de se mobiliser.

Au moment de la sortie du deuxième bain les couches profondes sont tombées à 25 degrés. Et elles doivent encore céder de la chaleur à la peau qui est fortement hyperhémiée alors. L'animal est dans le coma et on le sauve difficilement.

§ 3. — *Mécanisme de production d'un courant de sortie capable d'abaisser la température des couches profondes de l'organisme.*

Pour produire un tel effet, le courant de sortie doit soustraire par minute un grand nombre de calories à l'organisme.

Trois causes peuvent donner naissance à un tel courant :

1° Ou bien une très grande différence de niveau de température entre le corps et le milieu extérieur.

C'est là l'hypothèse la plus grave ; car le corps

peut finalement descendre à ce bas niveau, mortel.

2° Ou bien une faible résistance au courant calorique dans le monde extérieur se présentant en même temps qu'une différence de température médiocre.

Un bain d'eau tiède pourra abaisser la température centrale du corps, ce que ne pourrait pas faire un bain d'air dans les mêmes conditions.

3° Enfin la longue durée de temps qui opère la sommation des déficits causés par un courant de sortie légèrement excessif, peut rendre ce courant capable d'abaisser la température centrale.

Le courant de sortie de chaleur est régi par une loi analogue à celle que Ohm a formulée pour l'électricité

$$I = \frac{E}{R}$$

On peut poser que la résistance R du milieu extérieur est égale à l'inverse de sa conductibilité

$$C = \frac{I}{R}$$

On a alors

$$I = C\,E$$

I sera le débit de calories par minute.

E la différence de température entre la peau et le milieu extérieur.

On peut obtenir un gros débit soit en augmentant C, soit en donnant une grande valeur à E.

L'énergie totale soustraite à l'organisme est égale au débit multiplié par le temps qu'il a duré.

Dépense en calories = I t
= C E t

Dans ces conditions, il serait facile de calculer le refroidissement au bout d'un temps donné, si la thermogénèse était une source de débit invariable.

Mais le courant d'entrée est lié au courant de sortie, varie en même temps que lui. — Reste à déterminer quel est ce lien.

§ 4. — *Vraie cause de l'accélération de la thermogénèse*

Que faut-il penser de l'influence du froid réalisé dans les couches profondes de l'organisme ? — Dans tous les cas, ce ne pourrait être qu'un effet tardif. Or, le maximum de production de chaleur a lieu deux minutes après l'immersion dans le bain.

Même avec les courants aboutissant à un grand abaissement final de la température intérieure du corps, ce n'est pas cet abaissement qui agit au début, puisqu'il n'existe pas encore. — Ce n'est pas non plus la prévision psychologique de cet abaissement ; l'exaltation de la thermogénèse est due à un mécanisme inconscient. — Il faut donc que la cause soit un phénomène périphérique (1).

Nous conclurons : qu'il n'est pas nécessaire que le froid extérieur produise le refroidissement des

1. Nous admettons aussi que, lorsque le froid profond est réalisé, il puisse y avoir des réactions nouvelles d'origine centrale produites tardivement.

couches profondes du corps — pour qu'il ait néanmoins de grands effets ;

— Que, même lorsqu'il refroidit les couches profondes, ce n'est pas à cause de cela qu'il produit ces importants effets (régulation), puisque les effets sont produits avant que le refroidissement soit réalisé.

Déterminons maintenant quel peut être le phénomène à origine périphérique, qui est la cause des réactions de régulation.

Première hypothèse. — C'est le débit total d'énergie du courant de sortie qui est perçu de quelque manière par l'organisme et qui détermine par réaction le débit du courant d'entrée.

Dans cette hypothèse, il faudrait encore déterminer quel est celui des deux facteurs du débit d'énergie qui a de l'influence sur le courant d'entrée. — Est-ce le facteur intensivité, la différence de niveau entre le corps et le monde extérieur, — ou bien est-ce le facteur extensité, le *débit de matière* à la minute ?

Précisons l'intérêt de la distinction. On peut faire sortir cinquante calories à la minute avec un milieu extérieur modérément froid, si l'on fait passer ces calories de front à travers une très grande surface. Chaque calorie circulera à faible vitesse.

Ou bien on peut faire sortir cinquante calories en une minute par une surface cinquante fois plus petite, — mais avec une vitesse cinquante fois plus grande pour chaque calorie.

Vous augmentez le froid extérieur, mais vous diminuez la surface de contact avec ce monde exté-

rieur (vous ne plongez plus qu'une jambe dans le bain froid au lieu d'y plonger tout le corps).

Vous pouvez vous arranger pour avoir la même perte de calories par minute. Avez-vous la même réaction thermogénétique ?

Deuxième hypothèse. — Le débit en calories du courant de sortie n'aurait aucun intérêt. La réaction thermogénétique aurait lieu même en l'absence de tout courant de sortie. — Supposons que nos terminaisons nerveuses soient complètement isolées (1) et que le froid extérieur puisse agir sur ces terminaisons sans déterminer un appel des calories de l'intérieur ; constaterons-nous néanmoins dans ce cas une surexcitation de la thermogénèse, une augmentation du courant d'entrée qui fera monter le niveau de température du corps ?

Il est probable que les deux hypothèses sont vraies chacune dans un cas déterminé.

1. Par une couche non conductrice placée entre la peau et les muscles.

SECTION II

Cas d'un refroidissement limité aux couches superficielles du corps

§ 1. — *Possibilité d'effets graves résultant d'un refroidissement superficiel*

Un courant de chaleur, qui est incapable d'abaisser la température des couches profondes de l'organisme, peut néanmoins produire des effets cinétiques.

Une baisse de température de 1/2 degré dans le monde extérieur, si elle est brusque, peut avoir de graves effets perturbateurs sur notre organisme.

Ce refroidissement n'a pas besoin de durer plus d'une fraction de seconde.

Mais les effets les plus puissants seront produits par de petits refroidissements se reproduisant avec un certain rythme, une périodicité convenable.

Ce sont là réellement des phénomènes de choc qui donnent tous leurs effets dans un temps extrêmement court.

Nous parlons ici de refroidissement, mais ce n'est qu'à titre d'exemple. Il est évident qu'on en pourrait dire autant d'une cause capable d'élever à l'excès la température des couches superficielles du corps.

Un sujet contracte une angine parce qu'il est sorti un jour de pluie et que ses souliers sont restés humides. Un autre subit un coup de vent à l'angle

d'une rue et contracte une pneumonie. Nous ne pensons pas que leur température centrale ait été beaucoup modifiée au moment où ces causes ont agi.

En hydrothérapie, l'action d'une douche froide ne doit pas non plus être expliquée par un refroidissement bien profond. « Une douche froide nous fait frissonner, alors que la température centrale n'est pas modifiée (1). »

Voici une constatation faite maintes fois sur l'homme par Lefèvre (2) :

« Après un séjour prolongé dans un bain très chaud, la température du corps s'étant élevée au-dessus de 39 degrés, on constate que le pouls, de plus en plus rapide, bat à 140, en même temps qu'apparaissent subjectivement des oppressions angoissantes et des étourdissements. A ce moment, le sujet sort du bain chaud et reçoit aussitôt, à l'aide d'un linge simplement humecté d'eau fraîche, une lotion sur la poitrine et sur le dos. Instantanément, le cœur ralentit son mouvement, et son rythme, vigoureux et calme, s'établit en quelques instants à 78 ou 80 battements par minute...

» La modification rapide du rythme cardiaque ne dépend pas de celle du milieu intérieur, car elle se produit bien avant que la température interne ne soit revenue à la normale... Il semble bien prouvé que le cœur, dans sa force, son rythme, la durée de

1. *Dictionnaire de Physiologie* de Richet, mot « Chaleur », p. 173.
2. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 281.

sa systole, obéit par voie réflexe aux variations thermiques du milieu extérieur. »

Quant aux effets instantanés de la chaleur extérieure maintenant, — le professeur Richet a observé souvent sur lui-même, le phénomène suivant, quand il entrait dans son étuve sèche chauffée à 40 degrés. Quand il était dehors, il ne transpirait nullement ; mais dès qu'il était entré dans l'étuve, avant même qu'il fût incommodé par la chaleur, il voyait perler sur la peau, à l'avant-bras, à la poitrine, de petites gouttes de sueur, d'une finesse extrême (1).

On qualifie de *réflexes* ces effets d'origine périphérique, pour les opposer aux réactions d'origine centrale. Cela signifie que l'appareil régulateur comprend dans ce cas trois parties ; un nerf sensible centripète, un centre transformateur et un nerf centrifuge qui met en mouvement les muscles vaso-moteurs, ou les glandes sécrétoires de la sueur (2).

Quand l'appareil régulateur réflexe n'a pas fonctionné, l'appareil central entre en action à la suite du changement de température des couches profondes. On distingue ainsi un frisson réflexe et un frisson central, une polypnée réflexe et une polypnée centrale.

On peut supprimer l'action réflexe par exemple en sectionnant le nerf sensitif, ce que faisait Luch-

1. *Dictionnaire de Physiologie* de Richet, p. 174, mot « Chaleur ».
2. *Dictionnaire* de Richet, p. 166.

singer (1) sur la patte d'un chat ; la sueur ne se produisait plus par voie réflexe sur cette patte. — Un chien chloralisé ne conserve que la polypnée centrale et attend pour modifier sa respiration qu'il se soit échauffé profondément (2).

Chez certains lézards, on constate une polypnée thermique réflexe, qui disparaît dès qu'on interpose un écran entre la tête de l'animal et la source de chaleur. — La polypnée reprend plus tard avec une origine centrale quand la température du corps s'est élevée (3).

Cette régulation réflexe est une protection de luxe donnée à l'organisme afin d'éviter toute surprise. Elle le pousse à compenser des effets de refroidissement profond ou d'échauffement qui n'existent pas encore. — Un chien exposé au soleil commence trop vite sa polypnée ; parfois sa température baisse légèrement au-dessous de la normale, « comme si la » régulation par production de froid avait dépassé » le but et produit plus de froid qu'il n'était néces- » saire » (4).

Au reste cette protection n'est instituée que contre le froid ou la chaleur venant de l'extérieur.

Si l'on élève la température centrale au moyen

---

1. Cité par Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 278.
2. *Dictionnaire* de Richet, « Chaleur », p. 178.
3. Langlois, *Régulation thermique des poïkilothermes* (*Journal de physiologie*, mars 1902).
4. *Dictionnaire* de Richet, p. 176.

de contractions musculaires, l'appareil réflexe n'entrera pas en jeu (1).

Cette protection est plus ou moins heureuse. Elle est aveugle et incapable de tenir compte des cas particuliers.

Une excitation électrique ou mécanique de la peau peut lui donner le change pour une cause calorique et lui faire produire des réactions qui ne répondent à rien.

De plus, elle manque de souplesse et quand elle s'est adaptée à une situation, elle modifie à regret ses dispositions. Nous en avons vu un exemple frappant dans les bains doubles à refroidissement (voir ci-dessus, p. 185).

§ 2. — *Mode d'action de l'énergie calorique dans ces phénomènes réflexes*

Il semble que, pour la production de ces réflexes, la dépense d'énergie calorique puisse être assez faible et hors de proportion avec l'importance de la réponse.

Il s'agit simplement de fournir une énergie de déclanchement, d'amorce ; puis le système nerveux dégage, en une explosion, toute l'énergie qu'il avait accumulée par d'autres moyens. Ce n'est pas l'obus qui fait couler le navire : il ne fait que le trou par

1. *Dictionnaire de physiologie* de Richet, p. 177.

où l'eau pénètre. Et c'est l'énorme masse d'eau introduite qui est la cause réelle du naufrage.

Dans ces conditions, pour produire de grands effets dans l'organisme, le courant de chaleur n'a pas toujours besoin de charrier un grand nombre de calories.

Mais il doit avoir d'autres qualités.

Article premier

Brusquerie de variation

Certaines poudres peuvent brûler lentement sans exploser. Il leur faut un choc (1).

On peut pousser des milliers de mètres cubes d'air à la vitesse de 100 mètres par minute, aucune molécule ne sera décomposée, et pourtant il y aura en jeu une grande *quantité de mouvement*. Mais surviennent quelques corpuscules cathodiques à la vitesse de 40.000 kilomètres par seconde, les molécules d'air rencontrées seront brisées et l'air sera ionisé.

---

1. Nous avons vu qu'une même quantité totale d'énergie mécanique peut produire soit des mouvements d'ensemble de grandes masses, soit des effets brisants très localisés. Dans ce dernier cas, pour obtenir par exemple des effets de déclic, la brusquerie de l'action est nécessaire. — Suspendez un fusil à l'aide de deux cordelettes. En tirant très lentement sur la gâchette, vous pouvez entraîner toute l'arme en arrière sans faire varier la position de la gâchette par rapport au fusil. Le coup ne part pas. Pour le déclic, il faut un déplacement localisé, relatif d'une partie par rapport au reste du corps.

Il y a des effets que la *quantité de mouvement* (si grande qu'on la suppose) ne peut pas réaliser sans un certain *pourcentage de force vive*.

La force vive est cette qualité que possèdent certaines énergies de pouvoir se dégager très rapidement, se transvaser presque instantanément, — qualité très nécessaire lorsqu'on veut surprendre son adversaire avant qu'il ait eu le temps de rassembler ses moyens de défense.

La première résistance à l'attaque calorique est la diffusion, à de grandes masses, de l'énergie reçue. Il est certain que si on ne lui en laisse pas le temps, l'organisme ne pourra pas empêcher la chaleur de s'accumuler sur une petite surface ; la température montera et la terminaison nerveuse secouée par cette grande amplitude provoquera par voie réflexe une grave perturbation dans le système nerveux (1).

Il n'est pas nécessaire que ce débit de chaleur dure longtemps. Il suffit qu'il soit très intense pendant quelques instants. Il n'est pas nécessaire que la foudre agisse pendant une heure sur un animal, ni l'obus pendant une heure sur un cuirassé.

Pendant un court instant l'action a été plus grande que la résistance et l'*irréparable* est accompli.

Il est inutile qu'il y ait au total beaucoup de volts-coulombs, beaucoup de kilogrammètres, beaucoup

1. Dans le briquet à air, la brusquerie de la compression assure un isolement par défaut de temps, l'élévation de la température et l'inflammation de l'amadou.

de calories dépensées ; — 100 mètres cubes d'eau s'écoulant avec violence peuvent faire plus de dégât que 10.000 mètres cubes coulant lentement.

Article 2

Localisation

Pour produire les réflexes, il y a avantage à localiser l'action du courant de chaleur afin d'avoir plus de densité de courant en certains points.

Et ceci est d'autant plus utile qu'il existe à la surface du corps des points d'excitation calorifique analogues à ceux que Erb a décrits pour l'excitation électrique.

Les régions les plus sensibles au froid sont la partie moyenne de la plante des pieds (bien plus que le talon ou le cou-de-pied), le siège, la poitrine, le crâne (plus que le visage).

Au point de vue des réflexes, il y a des liaisons inattendues entre régions très éloignées l'une de l'autre. Le froid à la plante des pieds provoque des troubles circulatoires aux amygdales.

Article 3

Périodicité des courants de chaleur intermittents

Certains réflexes ne peuvent être produits que par des courants intermittents de certaine période.

Une seule impulsion était trop faible pour produire

le déclanchement, mais grâce à la résonance, la répétition permet d'atteindre un niveau suffisant pour briser la liaison.

Ainsi, dans l'accident du pont suspendu d'Angers, l'énergie cinétique de chute du pont a été déclanchée par le pas rythmé des soldats, — alors qu'une action plus forte, mais non périodique n'aurait pu rompre les liens.

Ce ne sont pas les vents les plus violents et les plus froids qui nous glacent le plus. Ce sont ceux dont la périodicité de coups s'accorde avec la périodicité de nos terminaisons nerveuses. Tel vent est plus actif sur tel sujet et tel autre vent sur un autre sujet.

CHAPITRE V

CAUSES INTÉRIEURES PARTICULIÈRES
DE VARIATIONS DU COURANT DE CHALEUR

Il n'entre pas dans le plan de notre travail de développer cette question qui est étudiée d'ailleurs dans de nombreux ouvrages classiques.

Notons seulement que la source chaude dans notre organisme n'est pas à une température absolument fixe.

« ...Ce qu'il faut examiner, et avec le plus grand soin, c'est l'oscillation de la température chez un même individu, normal adulte, bien portant, dans le cours d'une journée de vingt-quatre heures.

» Quoique bien des observations aient été faites par les physiologistes, on oublie en général que cette variation est tout à fait considérable et qu'elle est absolument régulière. Il est d'une grande importance pour le médecin d'en connaître les conditions...

» D'après les mesures de M. Jurgensen le maximum est vers 4, 6, 7 heures du soir, et c'est aussi ce qu'ont constaté à peu près tous les observateurs...

» Le minimum de la température se présente tou-

jours à peu près à la même heure, vers 3, 4 ou 5 heures du matin...

» Pendant la nuit, à partir du moment où l'on se se couche jusqu'au réveil, la température s'abaisse ; le matin elle s'élève lentement. Cette élévation augmente après le repas et arrive au maximum vers 4 heures, par suite de l'activité nerveuse qui se manifeste dans la journée.

» L'abaissement commence dans la soirée ; malgré le repas du soir, il se prononce de plus en plus et va en augmentant jusqu'à 3 heures du matin (1). »

Ce type normal peut être modifié par un changement dans les habitudes du sujet. — Des observations intéressantes ont été faites par MM. Toulouse et Piéron sur les *veilleuses* de l'asile de Villejuif (2), — une partie de ces infirmières, chargées du service de nuit, présentèrent un type inverti avec 37°45 à 6 heures du matin et 36°90 à 6 heures du soir.

Les maladies, les intoxications peuvent modifier d'une façon plus ou moins durable le niveau de notre température.

La fièvre est un *trouble de régulation* adaptant l'homéotherme à un niveau de température plus élevé que le niveau normal.

Dans ce cas, la production de calories est très peu

1. Ch. Richet, *la Chaleur animale*. Paris, Alcan, 1889, p. 65.

2. Toulouse et Piéron, *le Cycle nycthéméral de la température dans les cas d'activité nocturne et de sommeil diurne* (Soc. de Biol., 24 novembre 1906, et Biol., 1er décembre 1906).

supérieure à la production ordinaire, mais la température est élevée à 40, 41 degrés (1). Le ruisseau qui alimente l'étang ne débite pas beaucoup plus de litres à la minute, mais on a surélevé la digue qui retient les eaux.

Les dépressions nerveuses par épuisement, par intoxication de toute nature amènent souvent de l'hypothermie.

Toutes ces variations de température des sources modifient le courant de chaleur.

1. Chez l'homme de sport, qui parfois quintuple sa production de calories, le niveau ne dépasse pas 38°5. Il n'a pas de trouble de régulation (Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 354).

CHAPITRE VI

RÉSUMÉ

Accélération et dislocation. — Effets locaux

(Troubles de régulation par défaut de temps dans les changements.)

Tout change sans cesse dans notre organisme, comme dans le monde extérieur.

Le courant de chaleur change donc en nous et l'adaptation du système nerveux (etc.), à ce courant se modifie également.

Il n'y aurait pas grand inconvénient à ces changements si toutes les parties de la machine continuaient à se suivre, à marcher de concert. — Mais cela n'a pas lieu à cause de la différence d'inertie des différentes pièces de cette machine (1).

1. De plus, certaines circonstances annulent l'effet de l'inertie (vitesse acquise) sur certaines pièces de la machine seulement. Il faut alors *du temps* pour que l'effet de la résistance se transmette à travers des liens plus ou moins lâches aux autres pièces de la machine.

Une automobile qu'on freine brusquement perd sa vitesse, tandis que les voyageurs conservent la leur et sont projetés. — Si

Ce n'est pas du tout la même chose de *continuer à marcher du même pas* que son voisin lorsqu'on est déjà en route, — que de savoir *changer de pas en même temps* que lui au commandement. Pour réussir il faut consacrer *assez de temps* à ce changement et prévenir les hommes un peu d'avance (garde à vous).

Le meilleur moyen de voir si une troupe est hétérogène (ou bien si elle est entraînée, bien homogène) c'est de commander brusquement un changement d'allure. — On verra alors cette troupe en marche (qui jusque-là faisait bonne figure) se disloquer. Pendant quelques minutes ce sera un désarroi complet, les uns prenant de l'avance, les autres restant en arrière. Les différents hommes ont leur temps de réaction différent (leur équation personnelle, comme on dit pour les astronomes) pour s'adapter à la nouvelle allure.

Voilà l'effet du CHOC. Il n'a ce résultat que parce que l'ensemble, sur lequel il agit, n'est pas un, n'est pas bien homogène.

Il faut du *temps* pour prendre des habitudes d'ensemble (1), pour mettre au pas tous les éléments

---

l'on emploie plus de temps pour ralentir la voiture, elle accompagne plus longtemps les voyageurs Les frottements ont plus de temps pour ralentir ceux-ci. Les voyageurs et la voiture, perdant leur énergie sur un plus long chemin, la différence de force est faible. Il n'y a plus de séparation de parties, de dislocation locale

1. Tout est coordonné pour les actes, les changements que nous avons l'habitude d'accomplir, par exemple, la marche. Nous avons dépensé du temps, une fois pour toutes, au début, pour

d'une troupe, tous les rouages de notre organisme ; — et si l'allure (vitesse de changement de place) varie trop rapidement, la troupe n'a pas le temps de se mettre au pas.

A notre point de vue du courant physiologique de chaleur, l'existence d'un délicat appareil de régulation nous impose certaines précautions. En chaque circonstance, il faut lui laisser *le temps* de se mettre au point. Si on le brusque, il réagira à contresens et deviendra plus dangereux qu'utile (1).

On peut, par l'éducation, en dépensant *du temps* une fois pour toutes, modifier l'appareil de régulation, lui donner plus d'homogénéité. Il lui faudra alors moins *de temps* dans chaque cas particulier pour mettre d'accord ses différents rouages, il y aura entre ces derniers moins de divergences, moins de frictions et d'effort, moins de danger de dislocation locale (2).

---

prendre l'habitude, pour donner de l'*homogénéité* à ce point de vue à notre organisme. Il nous faut moins de temps maintenant, en chaque cas particulier, pour opérer les changements.

Essayons de faire un acte nouveau ; la dislocation apparaîtra dans les premiers temps de l'apprentissage. Le débutant, au piano, oubliera sa main gauche.

1. Maladies causées par l'appareil de régulation.

2. La notion capitale au point de vue de l'efficacité locale, de l'influence des variations du courant de chaleur sur notre santé, — c'est la notion d'*accélération, de* [*vitesse de variation* de « *la vitesse de changement* »] la dérivée seconde du changement par rapport au temps.

Au point de vue philosophique, comme au point de vue utilitaire, on ne saurait trop insister sur cette notion un peu abstraite et insaisissable sous sa forme mathématique, mais qu'il faudrait matérialiser pour la rendre populaire, comme elle le mérite.

TROISIÈME PARTIE

DES VARIATIONS MÉTÉOROLOGIQUES QUI ONT UNE INFLUENCE SUR LES VARIATIONS DU COURANT DE CHALEUR

CHAPITRE PREMIER. — Instruments, p. 210.
CHAPITRE II. — Remarques sur les variations de température dans le monde extérieur, p. 237.
CHAPITRE III. — Remarques sur l'influence des variations de l'énergie rayonnée (Actinisme), p. 264.
CHAPITRE IV. — Remarques sur l'influence du vent et des courants d'air, p. 296.
CHAPITRE V. — Remarques sur l'influence de l'humidité, sur le courant de chaleur et sur la sensation de chaleur, p. 315.

Nous noterons d'abord cette remarque générale. La météorologie médicale ne doit pas faire double emploi avec la météorologie des observatoires.

Cette dernière ne cherche que des moyennes. Elle s'efforce, autant que possible, d'éliminer les variations trop particulières, afin de n'avoir que l'allure générale des phénomènes pour chaque localité.

Dans ce but, elle emploie des instruments à inertie assez grande, n'obéissant pas à des influences de trop courte durée. Elle place ses hygromètres et ses thermomètres à l'ombre, dans des abris dont la

masse assure un gros volant thermique, capable d'éliminer les variations extrêmes comme froid ou comme chaleur. — Surtout, elle écarte les thermomètres de tous les corps capables de rayonner ; car c'est la seule température de l'air qu'elle veut mesurer.

Ses anémomètres sont établis à l'extrémité d'un long mât, placé lui-même sur le faîte d'un édifice.

Certes, il ne faut pas dédaigner les enseignements fournis par cette méthode. Ils nous avertissent qu'en général il fait plus chaud et moins humide dans telle région que dans telle autre, que les vents y sont plus ou moins violents, etc... On peut en conclure que les sujets atteints de telle maladie se trouveront mieux en général dans telle localité que dans telle autre.

Mais cela ne suffit pas pour renseigner le médecin.

Ce n'est pas en raison des vents qui règnent en général au sommet de la tour Eiffel au mois de janvier, — que tel malade a contracté une fluxion de poitrine tel jour, à tel angle de rue ; — nous ne vivons pas dans les hautes régions de l'atmosphère, mais bien dans les tourbillons d'air créés à la surface du sol par les obstacles de toute nature qu'on y rencontre. La température, qui agit sur notre peau, pour créer le courant de sortie de chaleur, n'est pas uniquement le niveau de l'énergie calorique sensible existant dans l'air ambiant. — Il faut tenir compte de l'énergie rayonnée qui sillonne l'atmosphère sans l'échauffer et qui se transforme à la sur-

face de notre corps, de nos vêtements, en énergie calorique.

De plus, les variations rapides des courants de convection, des courants rayonnés dans le monde extérieur ont, pour nos malades, une importance beaucoup plus grande qu'on ne pourrait le soupçonner.

Aussi, nous disposerons nos instruments aux endroits mêmes où les sujets peuvent se trouver placés dans le cours de la vie quotidienne. — Nos enregistreurs resteront la journée entière là où un ouvrier pourrait avoir à exécuter un travail. — Peu importe que le soleil y vienne à certaines heures, ou que le voisinage d'un mur renvoie une énergie rayonnée dont les effets s'ajoutent à ceux de la la température propre de l'air.

Notre anémomètre sera établi à la hauteur d'un homme debout sur le sol. — Nous observerons les effets combinés du soleil et des coups de vent sur le réservoir du thermomètre enregistreur.

Nous comparerons des graphiques pris aux mêmes heures dans différentes pièces, diversement orientées d'une maison.

Nous enregistrerons les variations rapides au moyen d'appareils à grande vitesse de déroulement. Et promenant nos instruments de la cave au grenier, nous chercherons à nous rendre compte, au moins en gros, des variations auxquelles notre organisme est soumis au cours de nos occupations journalières.

CHAPITRE PREMIER

INSTRUMENTS

Les variations météorologiques capables de troubler l'organisme par leur influence, sont en général des variations rapides. Pour les constater, il faut avoir des appareils enregistreurs. — Il serait en effet fastidieux de ne pas quitter ses instruments ; et, d'autre part, si, en vingt-quatre heures nous relevons trois fois seulement les indications de notre thermomètre (à 6 heures du matin, à midi et le soir vers 8 heures), combien de particularités ne laisserons-nous pas échapper.

Peut-être arriverons-nous près de notre instrument précisément pendant une période exceptionnelle ; le thermomètre s'est élevé ou abaissé considérablement (1) ; cette situation durera un quart d'heure et rien de semblable ne se reproduira plus au cours de la journée. Comment le saurons-nous ? Nous établirons une moyenne, nous ferons des

1. Pour l'hygromètre surtout, les variations sont très rapides. Même à l'ombre, les différences peuvent atteindre 20 ou 30 centièmes en quelques minutes.

interpolations pour calculer la température aux heures où nous n'avons pas fait d'observation ; en somme, toute notre étude sera complètement faussée.

Il existe bien des thermomètres à maxima et des thermomètres à minima, ou même des instruments fournissant les deux indications à la fois. Mais ce sont des enregistreurs bien imparfaits ; ils fournissent quelques renseignements sur le passé mais n'indiquent pas à quelle heure s'est produit ce maximum ou ce minimum.

L'enregistreur proprement dit fonctionne même en votre absence ; il note au moment même les variations survenues, et on peut ensuite en retrouver la trace sur le graphique divisé en fractions de temps.

On sait ainsi, heure par heure, ce qui s'est passé, et on évite même les erreurs de notations qu'un opérateur distrait pourrait commettre au cours de ses relevés.

Mais, avoir un enregistreur, ne dispense pas de le contrôler plusieurs fois par jour pour s'assurer de la régularité de sa marche. Il peut y avoir avance ou retard dans le mouvement ; l'encre peut manquer, ou la plume se fausser. On avait installé au mont Rose un enregistreur compliqué qui devait, pendant l'hiver, noter toutes les variations météorologiques. Quand on est revenu, au bout de plusieurs mois, on a constaté qu'il s'était arrêté le premier jour.

On emploie en général en météorologie, des enregistreurs formés par un cylindre contenant un mouvement d'horlogerie et qui tourne avec une vitesse

constante devant une plume commandée par l'organe essentiel de l'instrument (1) (thermomètre, hygromètre, baromètre...)

Il existe des cylindres de différents diamètres. Celui qui est préconisé par le Bureau central météorologique pour les observations courantes, a 9 centimètres de diamètre et fait un tour complet en une semaine et quelques heures. Sur le graphique, 3 millimètres représentent deux heures. La longueur totale de papier utilisable est d'environ 29 centimètres, sur une hauteur de 8 centimètres. Les variations peuvent s'étendre de (— 15 degrés) à (+ 40).

Un inconvénient de ce genre d'appareil est que la plume, tournant autour d'un axe horizontal, décrit des arcs de cercle. Il en résulte que si la température est de 30 degrés, l'heure de midi, par exemple, n'est pas sur la même verticale que si la température

1. Ces organes essentiels des enregistreurs météorologiques sont en général les suivants :

1° Pour l'hygromètre une touffe de cheveux qui s'allongent par l'humidité et se raccourcissent par la sécheresse. Ils opèrent alors une traction sur le levier qui agit sur l'aiguille porte plume ;

2° Pour le baromètre, le système de Vidie est adopté. Une série de petites boîtes à parois minces et ondulées, dans lesquelles on a fait le vide, se contractent quand la pression atmosphérique augmente, se dilatent en vertu de l'élasticité de leurs parois lorsque la pression diminue ;

3° Quant au thermomètre, c'est le principe des tubes de Bourdon qui est appliqué. Un tube assez large et plat a reçu une forte courbure. Il contient une petite quantité d'un liquide facilement vaporisable (alcool, éther). Lorsque la température s'élève, la pression augmente à l'intérieur du tube qui tend à redresser sa courbure. Une tige soudée à l'extrémité du tube amplifie son action sur le mécanisme enregistreur.

était de 10 degrés (fig. 22). Pour les appareils courants on trouve dans le commerce du papier spécialement quadrillé où les températures sont indiquées par des lignes horizontales et les heures par des arcs de cercle.

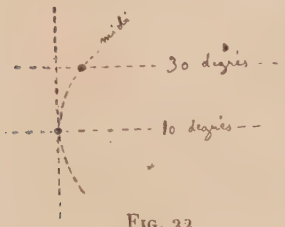


Fig. 22

Il est évident qu'un tel appareil est insuffisant si l'on veut étudier des variations brusques et répétées de température, un quart d'heure étant représenté par $\frac{1\text{ mm. }5}{4}$ la plume tracera une série d'arcs qui viendront en surcharge les uns sur les autres ; à un quart d'heure près, il sera impossible de savoir quand a commencé un phénomène. — C'est d'autant plus impossible que le constructeur est obligé de laisser un certain jeu dans les engrenages, jeu qui peut parfaitement produire sur le graphique une avance ou un retard d'une heure par rapport à l'instant où le phénomène s'est réellement produit (1).

1. Voici les avantages des graphiques à grande vitesse : étalement des sinuosités de la courbe qui ne se confondent plus, certitude de l'époque de début d'un phénomène avec une grande approximation. On veut par exemple étudier la loi de chute de température d'un corps. Avec un enregistreur lent on aura une simple droite ; impossible de savoir à quelle époque la plume était à moitié de sa course, à quel instant elle l'a achevée (fig. 24). Avec un enregistreur rapide on peut s'assurer que les 3/4 de sa chute se sont produits dans la première minute ; et qu'il a fallu ensuite dix minutes pour descendre du dernier quart par exemple.

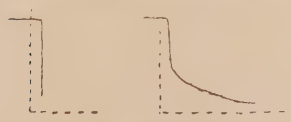


Fig. 24

A côté de ces avantages, les graphiques très étalés ont des

A ce double point de vue, il y a grand intérêt à ce qu'une petite durée de temps soit représentée par une longueur suffisante de papier. Nous nous sommes procuré pour notre thermomètre enregistreur un cylindre tournant à la vitesse de 11 millimètres pour un quart d'heure et pouvant donner des graphiques qui s'étendent sur une durée de six heures environ. Il nous a permis de faire quelques études sur l'influence combinée du soleil et du vent sur la température d'un réservoir thermométrique (fig. 23), page 215.

Baro-thermo-hygromètre enregistreur. — Désirant étudier les variations concomitantes de la température, de la pression et de l'humidité extérieure, leur correspondance avec les coups de vent et l'influence de ces différents facteurs sur nos impressions, — nous avons fait construire un appareil capable de faire défiler 8 centimètres de papier à l'heure (1). Le ther-

---

inconvénients. Si, pour avoir un élévation de 5 millimètres de la courbe, il faut dérouler 10 mètres de bande, la variation deviendra absolument insaisissable.

Pour comparer une journée à l'autre en moyenne, il nous faut un graphique condensant en 30 centimètres les données relatives à toute la semaine.

Les deux genres de graphique sont nécessaires et se complètent. Il en est ainsi dans tous les ordres d'idées. Quand on dessine une préparation microscopique, il est bon de tracer une vue d'ensemble à 10 de grossissement afin qu'on puisse s'orienter, avant d'examiner la figure à 500 diamètres de grossissement.

1. La hauteur du papier est de 25 centimètres, la longueur de la bande de 15 mètres pour une semaine. Un mécanisme d'horlogerie produit la traction et l'enroulement, un second mécanisme assure la régularité du déroulement.

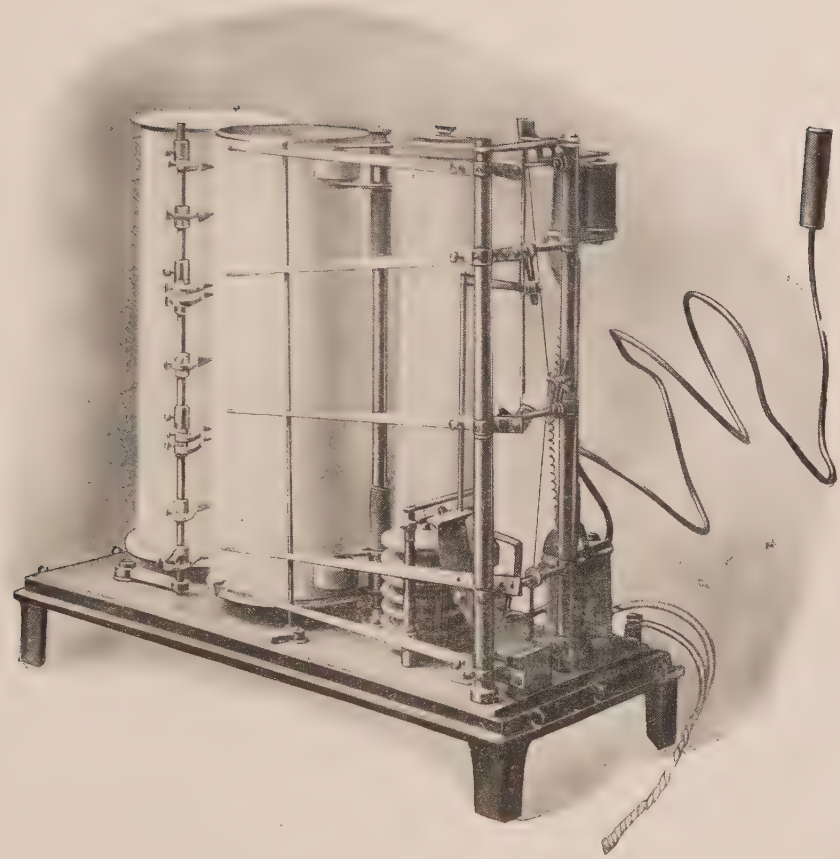


Fig. 25

Baro-thermo-hygromètre enregistreur, pointeur de coups de vent.

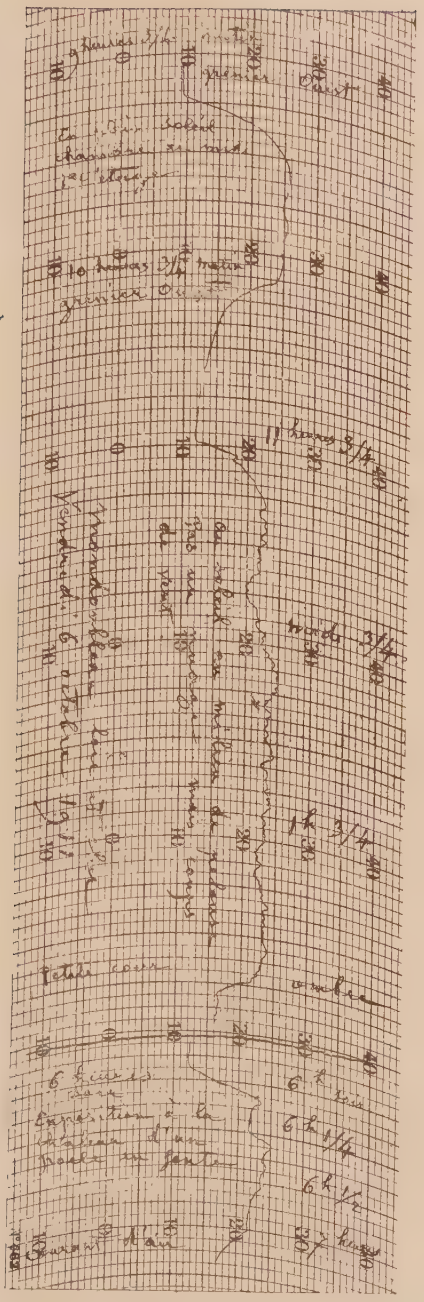


Fig. 23

Effet combiné du soleil et du vent sur le thermomètre

momètre, le baromètre et l'hygromètre ont chacun leur plume ; une quatrième plume marque les coups de vent ; la cinquième plume reliée électriquement à une horloge, pointe sur le graphique les heures et les demies et permet de contrôler la régularité du mouvement de déroulement.

Les plumes décrivant des arcs de cercle, on ne peut pas, en traçant une simple verticale, déterminer le point précis où se trouvait la plume de l'hygromètre sur sa courbe au moment où la plume du thermomètre occupait un point A sur sa propre courbe. Voici le moyen de repérage que nous employons. Trois plumes fixes tracent sur le papier à l'encre rouge des lignes horizontales correspondant à la hauteur de l'axe horizontal de rotation des plumes mobiles (fig. 26).

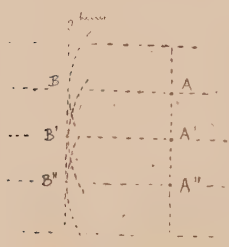


Fig. 26

Une verticale permet d'abaisser le point horaire sur ces trois horizontales.

On prend une ouverture de compas = A B égale à la longueur des aiguilles qui portent les plumes ; la pointe du compas étant placée successivement en chacun des points A, on trace les arcs de cercle d'heure égale.

Il est facile de voir de la sorte si l'abaissement de la température a réellement précédé l'élévation de la courbe hygrométrique, etc.

Au réservoir du thermomètre est soudé un long tube de métal flexible terminé par un second réser-

voir. Ce dernier peut être placé dans une étuve représentant ainsi les régions profondes de l'organisme animal. Le refroidissement a lieu par le second réservoir placé loin de la source chaude et qui figure la périphérie du corps. — Grâce au long tube flexible, tous les autres organes de l'enregistreur peuvent être assez écartés du foyer de chaleur pour n'en être pas influencés.

On obtient certains résultats avec ces appareils. Néanmoins, on peut craindre que ces réservoirs, relativement massifs, aient trop d'inertie calorique et laissent passer, sans les dépister, des variations trop brèves, capables cependant d'influencer gravement nos terminaisons nerveuses.

C'est dans cette pensée que nous avons eu recours à la méthode thermo-électrique. — Une soudure thermo-électrique a une bien faible capacité calorique, d'autant plus qu'on peut choisir des fils métalliques extrêmement fins (1). Elle peut se mettre très vite en équilibre de température avec le milieu extérieur.

Malheureusement, les courants électriques ainsi produits ne dépassent pas quelques millièmes de volts et pour les mesurer il faut un galvanomètre très sensible. — Les déviations étant extrêmement petites,

---

1. C'est ainsi qu'Armand Duchesne, au laboratoire de Liége, a pu noter les variations presque instantanées de température qui se produisent dans le cylindre d'une machine à vapeur aux différentes phases d'un coup de piston (Thèse de doctorat, Faculté des Sciences. Paris, 1911 et *Revue de mécanique*, juillet 1906, Paris, Dunod).

il faudrait pour les amplifier une longue aiguille dont l'inertie rendrait l'appareil inutilisable pour nous. Aussi nous remplacerons l'aiguille par un petit miroir projetant à grande distance un point lumineux: ce procédé optique présente tous les avantages qu'aurait une très longue aiguille sans inertie (1).

Nous avons employé un galvanomètre du type Despretz d'Arsonval à expansions polaires pour renforcer le champ magnétique. Le cadre était suspendu par un fil d'argent cylindrique de 5 centièmes de millimètre de diamètre (2).

Le montage de l'appareil était disposé pour projeter sur une règle à la distance de 1 m. 20 l'image du filament d'une lampe à incandescence.

Le couple thermo-électrique employé était « cuivre-constantan ». Une des soudures était à l'air libre dans une petite cour, à l'abri du soleil. L'autre plongeait dans un vase de Dewar (fig. 27) contenant de la glace pilée. La déviation mesurée sur la règle était de 1/2 centimètre par degré (3).

---

1. Il y a encore un autre avantage, c'est de permettre l'enregistrement photographique des déplacements du point lumineux. Une longue aiguille matérielle n'aurait pas assez de force dans ses mouvements pour conduire une plume et tracer une courbe sur le papier. Les frottements sont beaucoup trop grands pour l'énergie disponible.

2. L'inconvénient des galvanomètres très sensibles, qui donnent un déplacement de plusieurs divisions pour une fraction extrêmement petite de volt en plus ou en moins, — consiste dans leur lenteur. Ils ne pourraient pas suivre des variations rapides.

3. Le galvanomètre était placé sur plusieurs doubles de feutre

L'expérience ainsi montée et la sensibilité constatée par le fait qu'il suffisait de pincer entre le pouce et l'index la soudure extérieure pour faire dévier le spot d'une dizaine de centimètres, nous avons laissé cette soudure à l'air libre, et nous avons pu nous assurer que la température ne variait pas pour notre appareil, pas plus que pour un thermomètre à mercure placé à l'extérieur. Le vent est, en général, à la température du fond de l'air, et tel souffle qui nous glace, passe entièrement inaperçu pour nos instruments.

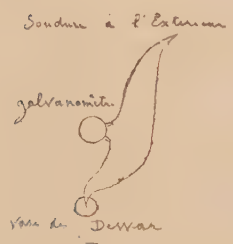


FIG. 27

C'est un grave défaut pour un appareil destiné à renseigner le médecin sur l'influence possible du milieu extérieur sur l'organisme.

En y réfléchissant, il est facile de se rendre compte de la raison de cette infériorité. Nous nous proposons de déduire de l'action du monde extérieur sur le thermomètre, l'action probable de ce même milieu sur notre organisme.

La première condition, pour cela, est de commencer par mettre le thermomètre dans un état autant que possible comparable au nôtre. — Est-ce cela que nous faisons ? — Nullement. Notre thermo-

---

épais pour éviter les trépidations ; car le passage des tramways dans la rue voisine amenait la rupture du fil fin de suspension du cadre.

mètre est un véritable *poïkilotherme* toujours à la température du monde extérieur (1).

Pour qu'il nous renseigne un peu mieux, il faut en faire un *homéotherme*. A côté du thermomètre ordinaire, le médecin doit placer un thermomètre chauffé.

Évidemment l'assimilation sera encore imparfaite. L'instrument physique ne pourra pas avoir la régulation compliquée qui caractérise l'être vivant. — Néanmoins, le but sera suffisamment atteint si nous réalisons, dans les couches profondes d'un appareil métallique, une température bien constante, par exemple 40 degrés. L'énergie calorique toujours renouvelée selon les besoins, s'écoule vers la surface et y détermine une température qui varie avec le débit du courant de chaleur dans le monde extérieur, c'est-à-dire non seulement avec la température de ce milieu, mais encore avec la vitesse de ses courants de convection, avec sa conductibilité, son état hygrométrique... tous facteurs ignorés du thermomètre ordinaire et qui pourtant nous intéressent au plus haut point.

Voici le principe, mais dans l'application, on rencontre encore bien des difficultés.

A. *Source*. — Il faut d'abord que la température de la source ne varie pas. Sinon, on pourrait toujours supposer que les variations de température de la

1. A moins que, à notre insu, il ne devienne, par surcroît, un transformateur d'énergie rayonnée.

surface sont dues, non aux variations du monde extérieur, mais aux variations de la source elle-même.

Nous nous sommes adressé d'abord à une chaleur morte, incapable de se renouveler, mais nous avons choisi un grand réservoir avec un étroit canal de sortie, c'est-à-dire un corps à grande capacité calorique, ne perdant son énergie que par une très petite partie de sa surface. — En fait, nous avions pris une bouteille de grès pleine d'eau bouillante, enveloppée dans plusieurs couches de ouate, et communiquant thermiquement avec l'extérieur par l'intermédiaire d'une tige de cuivre rouge qui traversait le bouchon.

Dans ces conditions, la bouteille restait chaude plusieurs heures. La tige exposée aux courants de convection du monde extérieur subissait des abaissements de température suivis de relèvements qu'on décélait nettement en mettant en contact avec cette tige le réservoir du thermomètre enregistreur ou la soudure d'une pile thermo-électrique.

A la rigueur, on pourrait craindre que la température ne soit pas la même dans toutes les couches de la masse d'eau et que cela donne lieu à des courants et à des variations de température qui n'auraient pas leur origine dans le monde extérieur. — Au surplus, ce procédé de chauffage ne permet pas de faire des observations de bien longue durée.

Comme source de chaleur vive, on pourrait employer une étuve à gaz pour laquelle un régulateur Chancel assure une grande constance à quelques centièmes de degré près. Mais la chaleur n'étant pas

une énergie facile à transporter au loin par conductibilité, il faudrait que l'étuve fût installée en plein air tout près de la surface à refroidir, il faudrait évacuer les produits de la combustion, sans que les coups de vent puissent produire des sautes de flamme.

Nous avons préféré l'étuve à chauffage électrique. Là encore la régulation est assez difficile. Nous avions d'abord employé des thermomètres à mercure semblables à ceux qui mettent en action les avertisseurs des couveuses ; lorsque la température monte aux environs de 40 degrés, la colonne de mercure rencontre un fil de platine, établit le contact et lance le courant dans la sonnerie. Dans notre appareil l'avertisseur interrompait le courant de chauffe.

Mais ces thermomètres ne supportent pas un courant capable de chauffer une étuve. Le mercure colle au platine, ne redescend pas avant que la température ait beaucoup baissé. L'étuve a des oscillations de deux ou trois degrés.

Une source comme les radiateurs électriques qu'on trouve dans le commerce, et qui est formée de résistances métalliques chauffantes enveloppées de matières céramiques, présenterait à notre point de vue bien des inconvénients. La chaleur traverse très lentement ces matières vitrifiées. Lorsque le régulateur a coupé le courant, la température continue à monter dans l'étuve.

Voici le dispositif auquel nous nous sommes arrêté. Une spirale formée de 4 mètres de fil de nickel pur de 1 dixième de millimètre de diamètre sert de

résistance chauffante. Elle est enfermée dans une boîte en bois, et reçoit le courant du secteur à 110 voltes. Cette spirale ayant une très faible masse s'échauffe très vite, cède facilement sa chaleur à l'air environnant et se refroidit instantanément lorsqu'on coupe le courant. — D'autre part, la résistance électrique du nickel augmente à mesure que sa température s'élève ; elle est presque double à 100 degrés de ce qu'elle est à 0 (1). Il en résulte que la température de la spirale tend à se régler d'elle-même et ne dépasse pas un certain taux.

Pour éviter, du reste, tout à coup qui pourrait résulter pour la production de la chaleur, de variations du courant électrique, — nous avons interposé entre cette spirale et la surface à chauffer un volant thermique constitué par une plaque de cuivre rouge de 3 millimètres d'épaisseur.

Il est facile de vérifier que les variations enregistrées sont bien dues aux changements qui surviennent dans le monde extérieur et non pas aux irrégularités du courant électrique de chauffage. On coupe le courant électrique pendant quelques minutes au milieu de l'expérience et l'on vérifie que les mêmes variations se produisent avec la chaleur morte provenant du volant thermique, qu'avec la chaleur vive s'écoulant de la source.

B. — (Organe de transmission de la chaleur depuis la source jusqu'à la surface extérieure qui se refroidit.)

1. Hospitalier, *Formulaire de l'électricien*. Paris, Masson, 1913, p. 603.

Cette transmission peut être assurée par la conductibilité d'une tige de cuivre rouge, ou bien par un courant de convection au sein de la masse d'air comprise entre la lame chauffante et la surface exposée au refroidissement, ou par un courant d'énergie rayonnée entre ces deux corps.

Quelle que soit la nature de ce courant il faut qu'il débite suffisamment d'énergie calorique, — sinon, après une première chute de température, le coup de vent suivant trouverait la surface trop refroidie déjà et ne marquerait pas son passage.

Il ne faut pas non plus que le courant de chauffe débite trop. Si les calories perdues étaient trop vite remplacées, si le vide creusé était instantanément comblé, on n'observerait plus les variations, le galvanomètre, si rapide qu'il soit, n'aurait plus le temps de s'ébranler.

Au début de notre étude, nous manquions absolument de données sur l'ordre de fréquence des variations à observer. On pouvait supposer que leur période était extrêmement courte et que seule l'inertie de nos instruments empêchait de les observer.

Galvanomètre de Einthoven (1)

Nous avons désiré faire un essai avec l'un des instruments les plus sensibles qui soit actuellement

1. Voir la description de l'instrument : *Archives internationales de Physiologie*, 1906, p. 145; *Archives néerlandaises.*

connu, instrument qui est en même temps capable de suivre des variations extrêmement rapides. L'organe essentiel du galvanomètre de Einthoven est une corde de quartz étiré, argenté, d'un diamètre de quelques microns.

Elle est parcourue par le courant électrique à analyser. D'après la grandeur de ce courant, elle est plus ou moins déviée dans le champ d'un puissant électro-aimant. L'ombre de cette corde, qu'éclaire une lampe à arc, est projetée à travers un microscope, sur la fente d'un enregistreur photographique (1). Le papier au gélatino-bromure défile avec une vitesse de 4 centimètres par seconde, en général. La corde, en raison de sa très faible inertie (2), obéit instantanément à la moindre impulsion, et s'arrête rapidement. Au moyen d'un réglage délicat, on détermine la tension convenable en chaque cas.

Cet appareil a donné à Leyde d'excellents résultats pour la prise des cardiogrammes ; et il commence à se répandre en France.

Grâce à la grande obligeance de M. le Dr Bordet, nous avons pu tenter, en sa présence, une expérience avec un de ces appareils. L'instrument fut mis en relation avec un dispositif thermo-électrique chauffé à l'eau chaude et qui donnait à l'air libre des oscillations très nettes avec le galvanomètre de Despretz et d'Arsonval. .

---

1. Roue de Bull de 1 mètre de circonférence.
2. *Archives néerlandaises.*

Le résultat fut négatif avec le galvanomètre de Einthoven. La corde entraînée en un seul sens sortait sans cesse du champ. Il faudrait sans doute un montage spécial, que ne permet pas l'usage auquel sont affectés ces instruments dans les hôpitaux.

Il semble, au surplus, que l'instrument soit beaucoup trop sensible pour les mesures à effectuer dans notre cas (1).

Méthode des Résistances

Nous avons alors tenté une autre voie. Abandonnant la méthode thermo-électrique, nous avons cherché à utiliser les variations de certaines résistances (au courant électrique) sous l'influence des variations de température.

On emploie un courant électrique plus fort, ce qui permet d'utiliser un galvanomètre moins sensible, muni d'un fil de suspension plus gros et par conséquent effectuant son oscillation en un temps beaucoup plus court. On pourrait noter par seconde beaucoup plus de variations distinctes (si elles existaient réellement dans le monde extérieur) qu'on ne le ferait avec un instrument plus sensible. Doit-on craindre, qu'avec un gros fil de suspension, le cadre réponde par une série d'oscillations à une seule impulsion venue du monde extérieur ? L'excellent

1. Les courants fournis par le cœur sont beaucoup plus faibles que ceux déterminés par les couples thermo-électriques.

amortissement du galvanomètre Despretz d'Arsonval nous met à l'abri de ce danger.

Avec la méthode des résistances, ce n'est plus la chaleur qui crée le courant. On a recours à une source étrangère. Et si cette source n'était pas constante, comment pourrions-nous distinguer les variations créées par la pile, de celles dues au courant de chaleur dans le monde extérieur ?

Nous constaterons d'abord que les variations de débit d'une pile Leclanché (comme celle que nous utilisions) sont dues surtout à la polarisation, en général. Or la résistance que nous employions était si grande que la pile a pu débiter sur elle pendant douze heures sans se polariser.

Au reste, avant chaque expérience nous vérifiions la constance de la pile de la façon suivante : nous faisions passer le courant dans la résistance avant de chauffer l'étuve. Le spot du galvanomètre restait immobile. Puis nous chauffions. Aussitôt le point lumineux commençait à osciller sous l'influence des mouvements de l'air extérieur.

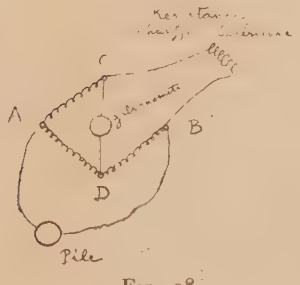


Fig. 28

Pour avoir plus de sensibilité, il ne faut par intercaler le galvanomètre dans le circuit qui contient la pile et la résistance ; il vaut mieux le monter en pont de Wheatstone (fig. 28).

Les trois côtés AD, AC et DB étaient constitués par

des résistances en fil de constantan de 2 dixièmes de millimètre de diamètre.

La *résistance chauffée* CB consistait en une spirale de fil de nickel pur de 1 dixième de millimètre de diamètre et de un mètre de long. Elle était étendue sur une fente pratiquée dans une feuille de carton d'amiante servant de couvercle à notre étuve à température constante. Ce dispositif placé dans la cour était relié au pont de Wheatstone par une ligne assez longue, mais très peu résistante.

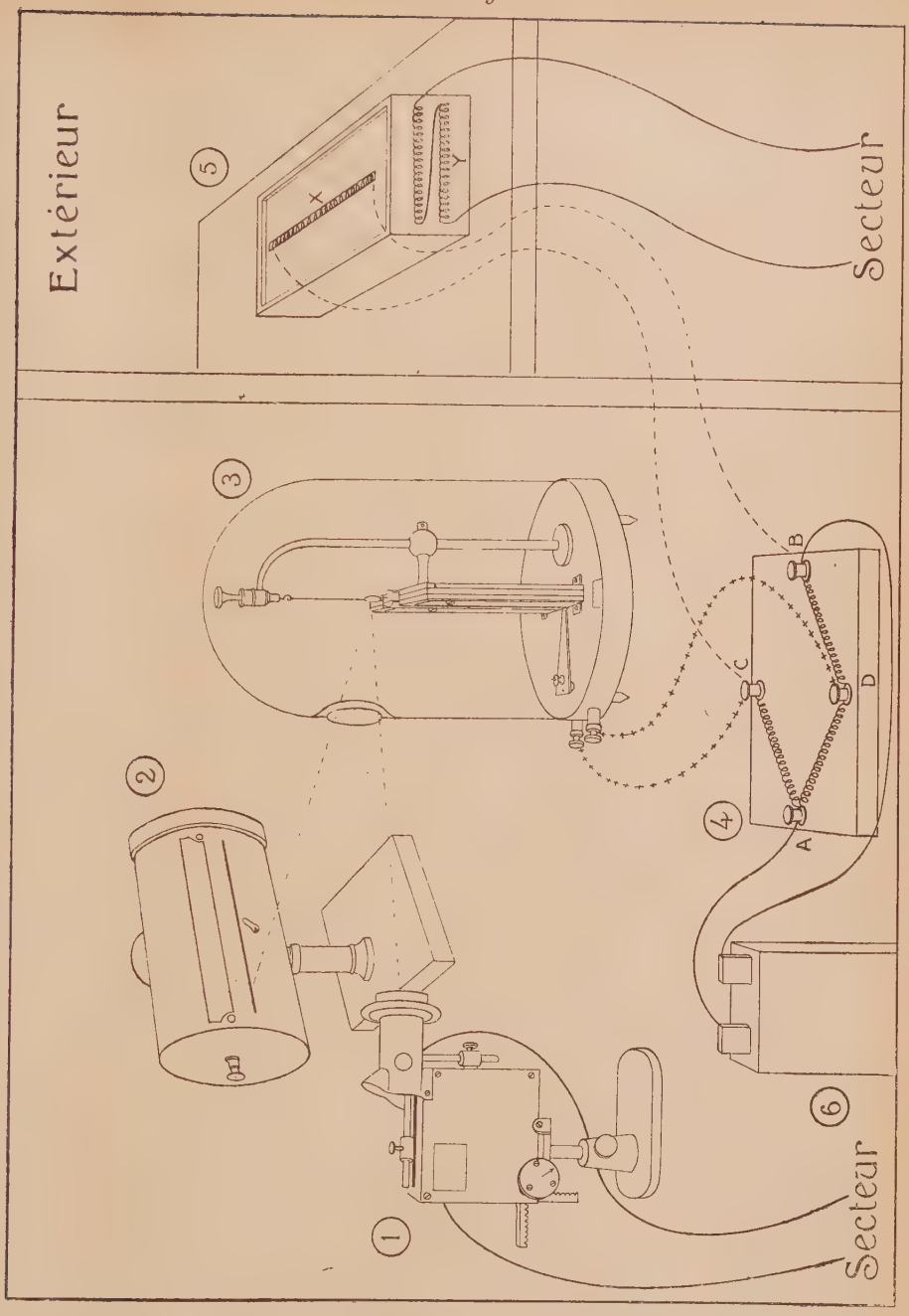
Au moment de nos expériences, la température de cette spirale était amenée à environ 40 degrés à l'abri du vent. A l'air libre, elle commençait à osciller autour de cette température moyenne.

Pour l'enregistrement de la ligne lumineuse verticale fournie par le miroir du galvanomètre, nous avons fait construire deux cylindres horizontaux, faisant passer, en face d'une fente, une feuille de papier photographique au gélatino-bromure, de 40 centimètres de long, l'un en six minutes et l'autre en six secondes.

Mais la question d'éclairage du miroir prend ici une grande importance. Avec le cylindre opérant sa révolution en six minutes, une lampe à incandescence à filament rectiligne était à peine suffisante.

Mais pour l'enregistrement à grande vitesse cet éclairage n'aurait pas eu le temps d'impressionner le papier, n'aurait donné aucun tracé. — Nous avons dû utiliser une petite lampe à arc (3 ampères et

Fig. 29



1. — Lampe à arc munie de la lentille demi-cylindrique.
2. — Cylindre enregistreur photographique (le volet relevé laisse voir la fente).
3. — Galvanomètre à miroir.
4. — Pont de Wheatstone.
5. — Résistance variable (X). A la partie inférieure de la boîte, on aperçoit par transparence les spirales qui chauffent l'étuve (Y).
6. — Pile dont le courant traverse la résistance chauffée et agit sur le galvanomètre.

110 volts) (1). Nous avons employé le courant alternatif (celui du secteur de la rive gauche). Il en résulte un avantage inattendu, une mesure du temps employé par l'image lumineuse pour parcourir les différents tronçons de la courbe.

Le tracé, semblable à une fibre musculaire striée, marque en segments pâles les 43 interruptions par seconde imposées à la lumière par l'alternateur de l'usine électrique.

Nous avons trouvé qu'avec le galvanomètre employé, l'atmosphère étant assez calme, le nombre des oscillations bien marquées par minute était d'une douzaine environ.

La vitesse de 40 centimètres en six minutes est un peu faible pour bien dégager les sinuosités de la courbe, les variations de vitesse au cours de la chute ou de l'ascension. — Par contre, 40 centimètres en six secondes, est un déroulement trop rapide (2) ; le graphique entier est employé pour une seule oscillation (3).

On peut du reste avoir opéré précisément au moment le moins intéressant, pendant une minute d'accalmie.

---

1. Une lentille demi-cylindrique placée près de la lampe projetait sous forme de ligne lumineuse verticale (perpendiculairement à la fente du cylindre) l'image du point brillant de l'arc, après réflexion sur le miroir du galvanomètre.

2. Voir les graphiques, fig. 41, 42 et 43, page 260, chap. II.

3. La vitesse la plus convenable pour le papier semblerait être de 40 centimètres par minute. On aurait ainsi le graphique d'une douzaine d'oscillations suffisamment étalées, pour qu'on puisse étudier facilement toutes leurs particularités.

Pour ne laisser échapper aucune particularité des phénomènes, l'appareil devrait fonctionner sans cesse. Mais à la vitesse de 40 centimètres par minute cela représenterait un déroulement de 576 mètres de papier par vingt-quatre heures.

On voit l'encombrement qui résulterait de pareils procédés d'observation, sans parler de la dépense qu'ils entraîneraient (1 et 2).

Il faudrait pouvoir enregistrer les variations de la courbe sous une forme microscopique (3). On la révèlerait ainsi dans le bain photographique; puis on l'examinerait sous un grossissement de quelques centaines de diamètres. Et on photographierait sous ce grossissement seulement les parties présentant un intérêt.

1. A l'Observatoire météorologique du Parc Saint-Maur, l'enregistrement des courbes du sismographe entraîne une dépense annuelle de papier photographique supérieure à 10.000 francs.

2. Il existe dans le commerce des millivoltmètres enregistreurs qui tracent à l'encre sur une bande de papier les variations du courant. Ils seraient assez sensibles au point de vue électrique, mais le frottement de la plume sur le papier rendrait impossible le déplacement de l'aiguille (force très petite). Aussi le tracé n'est pas continu, il est par points. Quatre ou cinq fois par minute, une tige abaisse l'aiguille sur le papier et lui fait marquer un point. Ce serait insuffisant pour notre usage, puisque nous avons une moyenne de 12 variations par minute. D'autre part si on mettait trop souvent l'aiguille en contact avec le papier, elle n'aurait plus la liberté de suivre les impulsions du courant.

3. Pour faire transporter aux pigeons voyageurs un grand nombre de dépêches, on reproduit les textes photographiquement dans des dimensions microscopiques que l'on grossit à l'arrivée.

Étude du courant d'élimination de chaleur de l'organisme

Nous nous proposons de construire un appareil selon le même principe pour étudier non plus les variations du pouvoir refroidissant de l'atmosphère en fonction du temps, mais les variations du courant d'élimination de chaleur de l'organisme en fonction du temps.

Pour construire cet appareil, nous nous inspirerons encore du *principe de l'homéothermie de l'instrument*. Mais comme il s'agira ici d'étudier non plus un *pouvoir refroidissant* mais bien un *pouvoir réchauffant*, nous établirons maintenant un thermomètre non plus chauffé, mais refroidi à température constante par un courant d'eau. Ce courant circulera dans un fin tube de verre replié sur lui-même sur lequel sera enroulé la spirale de fil de nickel, résistance au courant électrique qui traverse le pont de Wheatstone. Ce tube de verre sera placé sur la peau ou bien introduit dans le rectum de l'animal en expérience.

Il serait intéressant de voir si le courant d'élimination de chaleur de notre organisme est constant ou intermittent, et dans ce dernier cas, s'il est périodique. On pourrait voir quelles circonstances modifient son rythme et son amplitude, par exemple si toutes les fièvres de même degré statique de température auraient le même rythme au point de vue du courant varié de chaleur.

La réalisation d'un tel instrument est délicate. S'il avait un volant thermique appréciable, il estomperait toutes les variations de courte durée. Aussi faut-il rejeter tout dispositif dans lequel la *spirale résistante* serait enrobée dans du verre par exemple. Le fil métallique doit toucher directement la peau ou la muqueuse rectale. Enroulé sur le tube de verre qui est traversé par le courant d'eau, il est situé entre le « froid intérieur » et le « chaud extérieur ». — Sa température variera selon que le débit constant du refroidissement se trouvera être plus ou moins grand que le débit variable du réchauffement. Par conséquent, la variation de résistance et la variation du courant dans le galvanomètre devront représenter dans tous leurs détails (amplitude et durée) toutes les variations du courant d'élimination de chaleur.

Le fait que la spirale métallique sera baignée dans les liquides intestinaux ne changera pas grand'chose au résultat, la résistance électrique des liquides étant très considérable par rapport à celle du métal (1).

Anémomètres

Pour l'étude du vent à l'aide des enregistreurs, plusieurs procédés s'offrent à nous.

1. Une autre difficulté de l'expérience est le volant thermique de la peau, des masses viscérales. Ce volant est infiniment plus grand que celui de l'air atmosphérique. Dans ces conditions, peut-on réellement déceler un courant oscillatoire d'élimination de chaleur ?

On peut inscrire directement le chemin parcouru par une molécule d'air (ce qu'on appelle le nombre de *mètres de vent passé*) dans telle durée de temps par exemple.

Nous avions disposé à 1 m. 50 au-dessus du sol, au milieu d'un jardin, un anémomètre Robinson. A chaque tour de moulinet se produisait un contact électrique. Une plume pointait sur une bande de papier tous les 5 mètres de vent passé. Il est facile ainsi de se rendre compte des moments où le courant de convection refroidissant a été plus ou moins intense. Mais, ici encore, nous sommes aux prises avec la difficulté de faire défiler beaucoup de papier à la minute et pendant longtemps.

Un vent de 1 mètre par seconde est extrêmement faible et pourtant il donne un contact toutes les cinq secondes. Pour avoir des traits distincts, il faudrait les distancer d'un millimètre environ ; cela représente un déroulement de plus d'un centimètre par minute pour un vent faible. Il faudrait 5 centimètres par minute pour inscrire convenablement un vent de 5 mètres qui est déjà une assez forte brise (capable d'enlever les chapeaux).

Il existe des appareils moins encombrants dont la courbe représente la vitesse moyenne pendant un certain temps. L'aiguille ne se déplace que lorsque le moulinet a fait 100 ou bien 1000 tours. Mais, ainsi, toutes les particularités disparaissent dans la moyenne.

Un autre procédé d'enregistrement du vent, fort

intéressant pour le médecin, consiste à pointer les coups de vent et non plus le chemin parcouru. On peut avoir ainsi sur un graphique l'époque d'un coup de vent, la durée de temps qui le sépare de la variation de la courbe thermométrique ou de la courbe de l'hygromètre. On note ainsi, surtout, la périodicité du vent, sa fréquence, qui a, selon nous, une grande importance pour les phénomènes de résonance qu'ils provoquent dans nos terminaisons nerveuses périphériques. On peut noter à mesure les impressions qu'on éprouve sous l'influence d'un courant de telle ou telle forme.

Pour l'enregistrement des coups de vent, l'organe transmetteur, que nous avons employé, consistait en petits pendules formés d'une sphère légère suspendue par un fil d'argent.

Cette tige de 10 centimètres de long environ était reliée à l'un des pôles d'une pile électrique, l'autre pôle étant en communication avec un anneau d'argent d'environ 1 cm. 5 de diamètre au centre duquel passait la tige du pendule au repos. S'il survenait un coup de vent de force suffisante, la tige venait toucher l'anneau, le courant passait et la plume inscrivait un trait vertical.

Avec une série de 5 ou 6 pendules semblables ayant des sphères de même grosseur, des tiges de même longueur, et ne différant entre eux que par leur poids, chacun d'eux étant relié à une plume différente, on aurait pu noter, en outre, la force du vent (c'est-à-dire sa vitesse) à chaque coup.

Dans certaines observations, nous avons remplacé les pendules par des feuilles d'étain très minces.

Nous avons employé comme organe d'inscription, un récepteur de télégraphe Morse qui déroulait 50 centimètres de papier par minute(1). On peut lire sur la bande, outre la fréquence des coups de vent, leur durée, leur caractère soutenu ou sauté, toutes choses ayant grand intérêt au point de vue des effets réflexes qu'ils provoquent dans l'organisme.

1. Voir fig. 44, chap. IV, « Vent », p. 299-301.

CHAPITRE II

REMARQUES SUR LES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE DANS LE MONDE EXTÉRIEUR

SOMMAIRE

Première section. — Précautions à prendre pour ces mesures, p. 238.

Section II. — Des gaines de chaleur et de froid, p. 241.

Section III. — Variation de la température ambiante par suite du déplacement du sujet, p. 242. — § 1. Variation au cours d'une promenade, p. 242. — § 2. Variation en passant d'une pièce dans une autre, p. 245. — § 3. Variations de température subies lorsqu'on se déplace sans sortir d'une même chambre, p. 248.

Section IV. — Variations de température subies sans déplacement du sujet, p. 251. — § 1. Variations sous l'influence combinée du soleil et du vent, p. 251. — § 2. Graphique d'un orage, p. 252. — § 3. Variation de la température d'une même pièce selon les heures. — Comparaison entre des pièces diversement exposées, p. 256. — § 4. Comparaison entre les graphiques pris au dehors et ceux pris à l'intérieur d'une habitation pendant la même semaine, p. 259.

Section V. — Étude des variations de température au moyen d'appareils homéothermes, maintenus à température constante plus chaude (ou plus froide) que celle du monde extérieur (Etude des variations brusques du pouvoir refroidissant de l'air), p. 260.

PREMIÈRE SECTION

Précautions a prendre pour ces mesures (1)

Il faut surtout savoir exactement ce qu'on étudie et ce qu'on mesure réellement dans chaque cas particulier. Il arrive souvent qu'on prétende avoir analysé tel phénomène alors que c'est un tout autre phénomène qu'on a mesuré. Veut-on prendre la température du *fond de l'air*, ou bien étudier le rayonnement ; ou bien veut-on prendre les deux effets en bloc ?

Un thermomètre à liquide coloré, ou bien un thermomètre placé à proximité d'un mur ou d'un sol empierré, tiendra compte autant du rayonnement que de la température de l'air. Pour éviter le rayonnement, il faudrait placer l'instrument à l'ombre, à 1 mètre 50 environ au-dessus d'un sol gazonné, loin des bâtiments, et faire choix d'un thermomètre à mercure à verre non coloré.

Thermomètre fronde. — Il est un moyen d'éliminer l'influence du rayonnement, et de déterminer, même en plein soleil la température du fond de l'air (à un dixième de degré près). Il suffit de prendre un court thermomètre suspendu par une cordelette de 20 centimètres de long environ. On le fait tourner rapidement à la manière d'une fronde. On le tient

1. M. Angot, directeur du Bureau central météorologique, a publié une brochure d'*Instructions météorologiques*.

bras tendu pour l'éloigner du corps, dont l'influence modifierait la température. Après 200 tours environ, on l'arrête et on note rapidement l'indication de l'instrument. Pendant la rotation, il est sans cesse en contact avec de nouvelles couches d'air auxquelles il cède à mesure l'énergie qu'il reçoit du soleil ; il se maintient donc en équilibre de température avec l'air.

Un thermomètre est un réservoir thermique traversé sans cesse par un courant de chaleur. Si le débit du courant d'entrée augmente sans que le débit du courant de sortie soit modifié, il se produit une accumulation de matière calorique dans le réservoir. La base de celui-ci étant réputée invariable, c'est le niveau qui monte. Tel est l'effet produit par le noircissement de la boule du thermomètre.

On obtiendrait encore une élévation du niveau en diminuant le courant de sortie sans modifier le courant d'entrée. On peut voir deux thermomètres absolument semblables, placés côte à côte et dont l'un marque une quinzaine de degrés de plus que l'autre, uniquement parce que son réservoir est enfermé dans un ballon de verre où l'on a fait le vide. On a ainsi supprimé les courants de convection ; le thermomètre ne se refroidit plus que par rayonnement ; il se refroidit donc beaucoup moins.

Pour que les mesures de température aient une signification, il faut donc déterminer avec beaucoup de soin dans quelles conditions elles ont été prises. N'imitons pas ce fonctionnaire indien qui, voulant

déterminer la température de l'eau du Gange, se faisait apporter à sa résidence un seau d'eau, dans lequel il se décidait à plonger un thermomètre au bout de deux heures.

Sans aller aussi loin, ne nous est-il pas arrivé quelquefois, pour déterminer la température d'une pièce, de poser notre thermomètre sur la tablette chaude de la cheminée de marbre, — ou bien de l'accrocher au mur précisément au point où passait, noyé dans la maçonnerie, le tuyau du fourneau de cuisine d'un étage inférieur.

Il nous est arrivé de fausser un graphique, simplement en apportant d'une pièce voisine plus chaude le couvercle en tôle de notre enregistreur. Ce couvercle s'était échauffé et pendant quelque temps il a maintenu la courbe à une hauteur anormale.

Nous trouvons dans *l'Annuaire* de la Société météorologique de France (juillet 1909, p. 163) un article de M. Eiffel sur les avantages comparés des abris français et des abris anglais pour instruments météorologiques.

Les abris anglais, avec leurs volets à chicane, ne laissent pas voir le thermomètre et le protègent beaucoup mieux contre l'énergie rayonnée. Malheureusement on peut penser que la proximité de pareilles masses d'une telle capacité thermique (volant thermique) doit s'opposer à l'enregistrement des variations légères et brusques (1).

1. On peut voir dans l'ouvrage de Lefèvre, *Chaleur animale*, les précautions à prendre pour connaître la véritable tempéra-

SECTION II

Des gaines de chaleur et de froid

Au cours de l'hiver 1910-1911, nous avons fait un certain nombre d'observations thermométriques à Nice, dans la villa que nous occupions au mont Boron. Nous avions placé un thermomètre dans un panier suspendu à 2 mètres au-dessus d'un gazon. Le matin vers 8 heures nous observions que ce thermomètre marquait en moyenne un degré de moins que le thermomètre fronde tourné dehors à ce moment. Il y avait un retard au réchauffement, l'instrument gardait la température de 6 heures du matin.

Le soir vers 7 heures, c'était le contraire. Le thermomètre abrité était trop chaud ; il y avait un retard au refroidissement. C'est là un exemple d'un phénomène extrêmement général, une des formes de l'inertie.

A cause d'une sorte de frottement, une couche d'air plus ou moins épaisse reste adhérente au corps. Nous sommes plongé non pas dans l'air extérieur, mais dans une gaine de température intermédiaire. Cela explique la différence d'impression que nous éprouvons (à la même température) par temps calme, ou bien lorsque le vent détruit notre gaine protectrice.

---

ture d'un bain. Il faut mélanger avec le plus grand soin les couches d'eau, qui, sans cela, auraient d'un point à l'autre des températures très différentes.

Au commencement d'octobre 1912, tandis que le thermomètre marquait zéro au milieu de la pelouse de notre jardin (1), entourée à distance par un rideau d'arbres — la température descendait à 4 degrés au-dessous de zéro dans la partie de la ville qui est exposée au courant d'air suivant la vallée de la Grenne.

Dans les courettes entourées de bâtiments, et dans lesquelles l'air circule peu, on observe un retard aux variations thermométriques.

Nous reproduisons ici le graphique thermométrique pris à la vitesse de déroulement du papier de 5 centimètres à l'heure dans une courette d'une maison, rue de la Clef, à Paris, pendant l'éclipse de soleil du 17 avril 1912 ; l'heure a été contrôlée avec celle de l'Observatoire de Paris. L'heure du graphique est de quatre minutes et demie en avance (fig. 30, p. 243).

SECTION III

Variations de la température ambiante par suite du déplacement du sujet

§ 1. — *Variations au cours d'une promenade*

Aux principaux points du parcours, nous relevons la température de l'air à l'aide du thermomètre fronde :

1° A Nice, pendant la saison 1910-1911, au cours

1. A Mondoubleau, Loir-et-Cher.

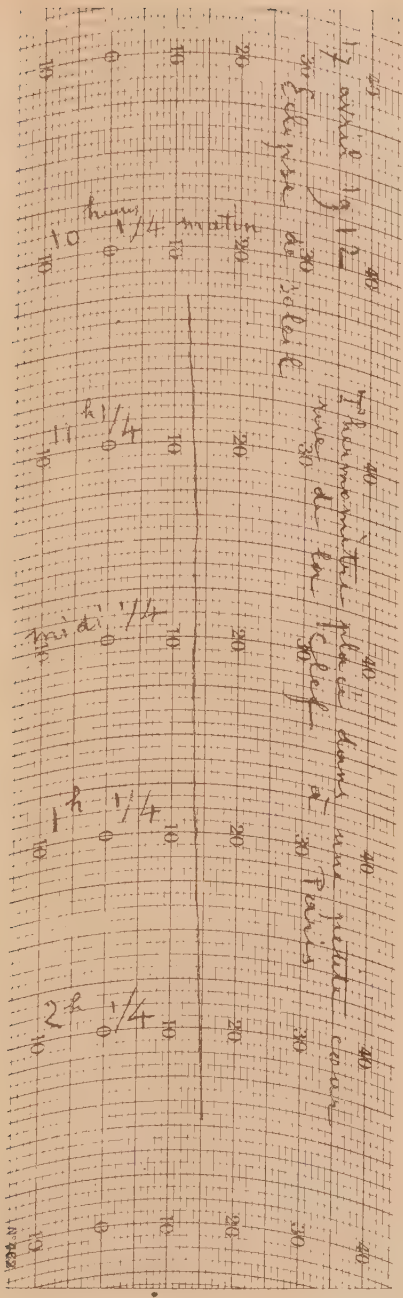


Fig. 30
Variations du thermomètre pendant une éclipse de soleil

d'une promenade sur le mont Boron, le dimanche 28 mai 1911.

Nous notons d'abord la température à 1 h. 1/2 après-midi, villa Marie-Henri, avenue Germaine, sur le balcon au midi ; impression tiède, léger vent d'ouest. Le thermomètre fronde immobile, pendu à l'air libre en dehors du balcon, marque 20 degrés.

Le seul fait de tourner ce thermomètre en fronde, au même lieu, augmente la déperdition par seconde, détruit la gaine d'air chaud qui l'entourait. Il descend à 19° 1/4.

Deux heures et quart après-midi : le soleil est encore caché. En sortant de la villa, le thermomètre tourné dans l'avenue Germaine, donne 19 degrés. L'impression est tiède.

Deux heures et demie : sur l'autre versant du mont Boron, en vue de la rade de Villefranche, près de la batterie, nous trouvons un vent fort.

L'impression est fraîche au point que nous mettons un pardessus.

Pourtant le thermomètre fronde tourné à ce moment donne encore 19 degrés. — Ainsi le thermomètre ne varie pas parallèlement avec notre impression. Et si nous n'avions que lui, il nous laisserait nous enrhumer ; nos impressions thermiques sont un guide plus sûr.

Au retour, à 3 heures après-midi, avenue Germaine, près de l'École, un peu de soleil, pas de vent. Impression très chaude. On se découvre. Le thermomètre fronde tourné donne 23 degrés.

Ainsi, une différence de 4 degrés seulement donne une différence très forte dans l'impression de température.

2° A Chernex-sur-Montreux (Suisse), le mercredi 28 mai 1913, à 1 h. 35 après-midi, dehors, à ma fenêtre, le thermomètre fronde, immobile à l'ombre, marque 25° 1/2, l'hygromètre cadran à main indique 59, beau soleil, un peu de brise.

A 3 heures après-midi, sur le sentier entre la route de Sonzier et le pont du Chaudron, à l'ombre, 21 degrés.

Sous bois, au petit pont qui traverse le torrent, à 2 mètres au-dessus de l'eau (sentier de Glion, site délicieux, ombre profonde, cascade). Mais l'impression est extrêmement fraîche et pénétrante. Le touriste qui vient de fournir une longue marche au soleil aurait tort de s'attarder en ce lieu. Le thermomètre fronde donne 17° 1/2 seulement. — Au retour, à 3 h. 3/4, sur la route entre Sonzier et Chernex, 23 degrés à l'ombre.

Le thermomètre placé dans la poche extérieure du veston pendant la marche marque 27 degrés. — Il indique seulement 28 degrés entre la tête et le chapeau de paille, pendant que la sueur coule du front au cours d'une montée.

§ 2. — *Variation de température en passant d'une pièce dans une autre*

Nous avons transporté successivement du grenier

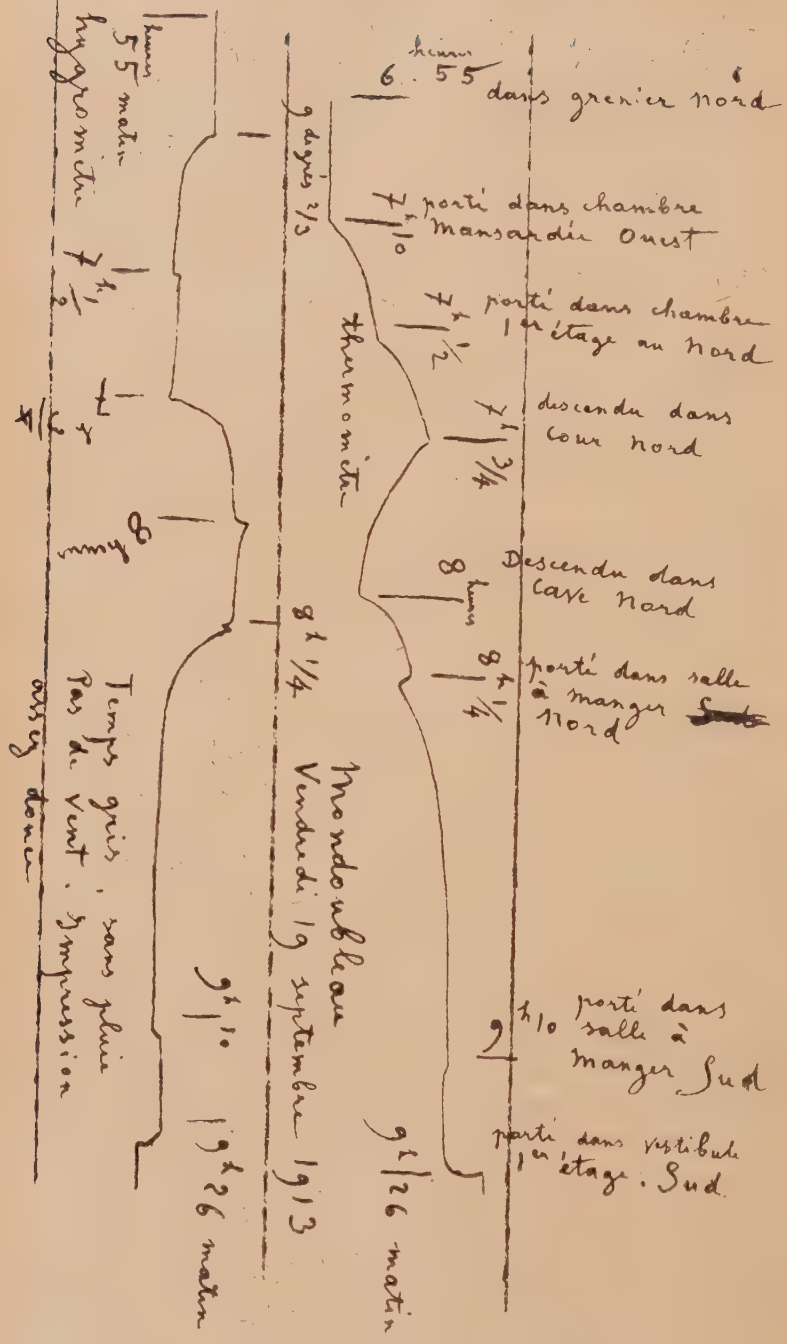

6 h mm 55 matin hygromètre
9 degrés 3/5
thermomètre
8 h 1/4
Vendredi 19 septembre 1913
9 h 26 matin
6 h mm 55 dans grenier nord
7 h 1/2 porté dans chambre mansardée Ouest
7 h 1/2 porté dans chambre 1er étage au Nord
7 h 3/4 descendu dans cour nord
8 h mm Descendu dans cave Nord
8 h 1/4 porté dans salle à manger Sud Nord
9 h porté dans salle à manger Sud
porté dans vestibule 1er étage. Sud
Temps gris, sans pluie
Pas de vent. Impression assez douce

Fig. 31

Enregistreur thermo-hygromètre transporté du grenier à la cave.

à la cave, en passant par des pièces diversement exposées, notre thermo-hygromètre à grande vitesse de déroulement et voici le tracé que nous avons obtenu (voir fig. 31). Nous constatons d'abord la différence de température qui existe entre une chambre mansardée exposée à l'ouest et le grenier ouvert à tous les vents. En entrant dans cette chambre, l'hygromètre abaisse très rapidement sa courbe. — Nous descendons dans une chambre du premier étage ; il y fait plus chaud malgré l'exposition au nord. En revanche, il y fait plus humide. — Une apparition au dehors dans une cour exposée au nord, fait descendre la courbe thermométrique et monter encore plus rapidement la courbe hygrométrique. — Nous descendons à la cave. La température indiquée monte vivement ; l'humidité diminue légèrement. Voici qui semble un peu paradoxal : une cave chaude et sèche.

L'appareil est ensuite transporté au rez-de-chaussée dans une salle à manger au nord. La température monte un peu et l'humidité diminue beaucoup.

Dans une autre pièce du rez-de-chaussée, au sud, mais non habitée, il fait un peu plus froid et un peu plus humide.

Enfin, au premier étage, au midi, la température monte et l'humidité diminue.

Ce graphique nous représente bien les influences auxquelles est soumis le sujet qui circule dans une maison et l'aspect plus ou moins dressé de chaque courbe nous indique quelle était la vitesse, la plus

ou moins grande brusquerie de la variation subie par notre organisme.

§ 3. — *Variations de température subies lorsqu'on se déplace sans sortir d'une même chambre*

Nous reproduisons deux graphiques, pris avec un thermomètre enregistreur du type « Bureau central météorologique », mais dont l'horlogerie a été modifiée de façon à dérouler 4 cm. 5 de papier à l'heure. Le graphique original a 29 centimètres de long.

1° Déplacement de l'appareil dans un cabinet de travail au rez-de-chaussée, chauffé par le calorifère (Paris, rue de la Clef, le 20 novembre 1911) (*Partie inférieure de la figure*). — A 11 h. 1/4 du matin, l'instrument posé sur la table au milieu de la pièce marque 18°1/2. La température tend à s'élever; à 11 h. 1/2 elle est de 18°3/4. — A ce moment, nous plaçons l'appareil au niveau du sol, sur le parquet. Au bout d'un quart d'heure la courbe est descendue de plus de 1 degré. A 11 h. 53 l'appareil est posé sur un meuble à 1 m. 50 au-dessus du sol. La courbe remonte assez vite d'abord, puis plus lentement; elle se fixe à 19°1/4.

2° Déplacement dans une chambre chauffée par le calorifère au premier étage, rue de la Clef, à Paris (27 novembre 1911) (*Partie supérieure de la figure*). — A 2 h. 05, après-midi, au début de l'expérience, le thermomètre marquait 13°1/2. Nous le posons sur le

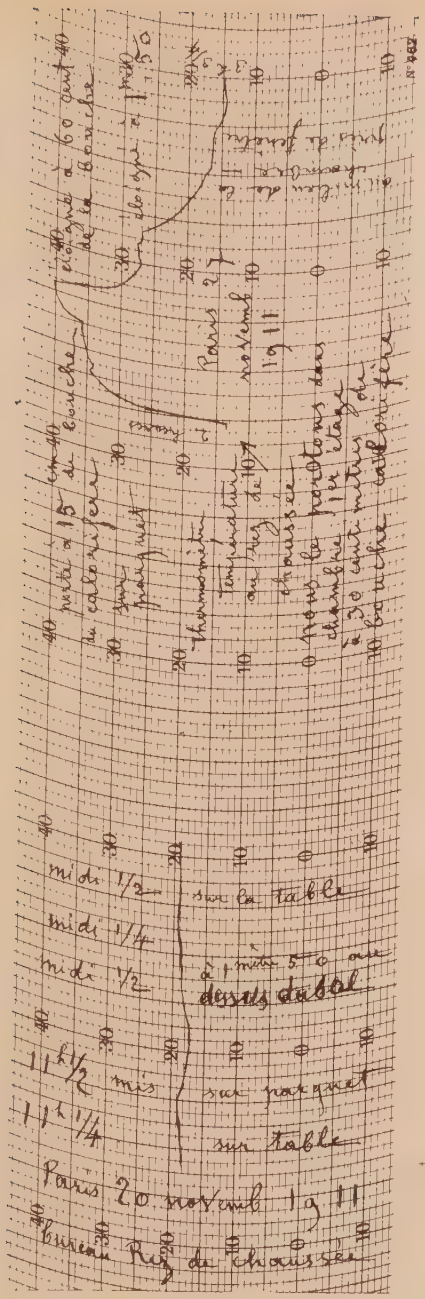


Fig. 32

Graphique — thermomètre Bureau central grande vitesse
du 27 novembre 1911.
Chambre premier étage, rue de la Clef, Paris.

parquet à 30 centimètres de la bouche verticale du calorifère. En sept minutes, c'est-à-dire par une ligne presque verticale, la courbe s'élève à 35 degrés. Dans le quart d'heure suivant, elle ne monte plus que de 1 degré.

A 2 h. 1/2 nous rapprochons l'instrument à 15 centimètres de la bouche. C'est la situation qu'occupent les pieds d'un sujet, lorsqu'il se chauffe à la bouche. En dix minutes la courbe monte de 5 degrés; elle atteint 41 degrés.

Puis, sur le parquet, nous éloignons l'instrument à 60 centimètres de la bouche. La chute, en quatre minutes, est de 11 degrés; puis elle devient moins rapide. Finalement, la courbe oscille entre 27 et 27°3/4.

A 3 h. 02 nous écartons l'appareil sur le parquet, à 1 m. 50 de la bouche. En vingt minutes, la courbe tombe à 18°1/2.

A 2 m. 50 de la bouche, la courbe baisse à 17 degrés.

Nous portons le thermomètre sur une table au milieu de la pièce. En dix minutes la température baisse de 3/4 de degré et descend à 16°1/4.

Placé à 1 m. 50 au-dessus du sol, sur un meuble voisin de la fenêtre, il marque 14°1/2 à 3 h. 3/4.

SECTION IV

Variations de température subies sans déplacement du sujet

§ 1. — *Variations sous l'influence combinée du soleil et du vent* (1)

1° Graphique pris le dimanche 6 octobre 1912 sur la pelouse, dans le jardin, à Mondoubleau (Loir-et-Cher) (fig. 33). L'enregistreur est à l'air libre ; il est posé sur une planche au niveau du sol. Le soleil est sans nuage ; il peut (peut-être) être considéré comme une source d'énergie à niveau constant. Les variations de la courbe thermométrique seraient alors dues uniquement aux coups de vent assez espacés, du reste.

A 1 h. 10 après-midi, nous enveloppons dans une étoffe de drap noir le thermomètre placé à l'extrémité de la tige souple du thermomètre enregistreur. La courbe monte. — Mais le vent la fait baisser. En disposant alors un abri vertical, qui empêche le vent de frapper l'appareil, la température s'élève beaucoup. Voici une traduction graphique de l'impression de chaleur qu'on éprouve lorsqu'on se met à l'abri d'un mur un jour de vent froid.

A 2 h. 20, nous supprimons l'étoffe noire qui enve-

1. Voir aussi figure 23, p. 215.

loppait le réservoir et nous la remplaçons par une étoffe de toile blanche préalablement chauffée au soleil. La chute de la courbe est extrêmement rapide.

Pendant toute la durée de l'expérience, l'humidité n'a pas sensiblement varié.

2° Graphique pris le jeudi 10 octobre 1912 au même endroit que le précédent (fig. 34). Le vent souffle en coups plus pressés. Sous l'influence du soleil, la température monte et l'humidité diminue. L'humidité présente cette fois des oscillations beaucoup plus marquées que dans le précédent graphique.

Nous remarquons encore que, chaque fois que nous enveloppons le réservoir thermométrique d'une étoffe noire, la courbe se relève en un temps très court.

§ 2. — *Graphique d'un orage* (fig. 35).

L'enregistreur était placé dans un grenier orienté au nord (à Mondoubleau). — A 5 h. 1/4 du matin, on entend les premiers roulements de tonnerre. On ne sent pas d'air et l'impression est tiède. Le thermomètre marque 20 degrés, l'hygromètre 83 et le baromètre 749.

A 7 heures du matin, la pluie tombe. Le thermomètre baisse en un quart d'heure ; l'hygromètre monte plus rapidement encore (brusquerie de la variation). Quant au baromètre, sa courbe monte assez vite, mais un peu plus tard.

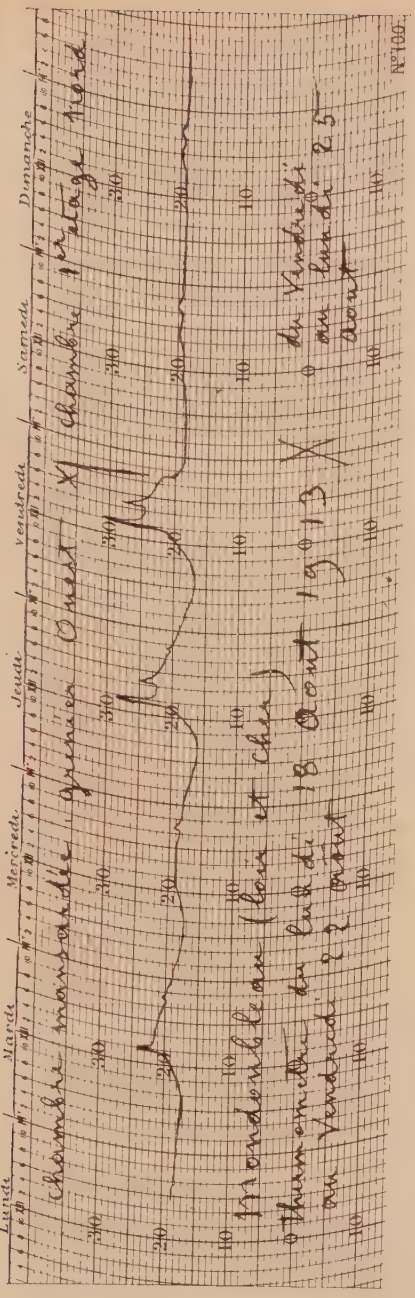


Fig. 36

1° Thermomètre chambre mansardée grenier OUEST puis chambre 1er étage NORD

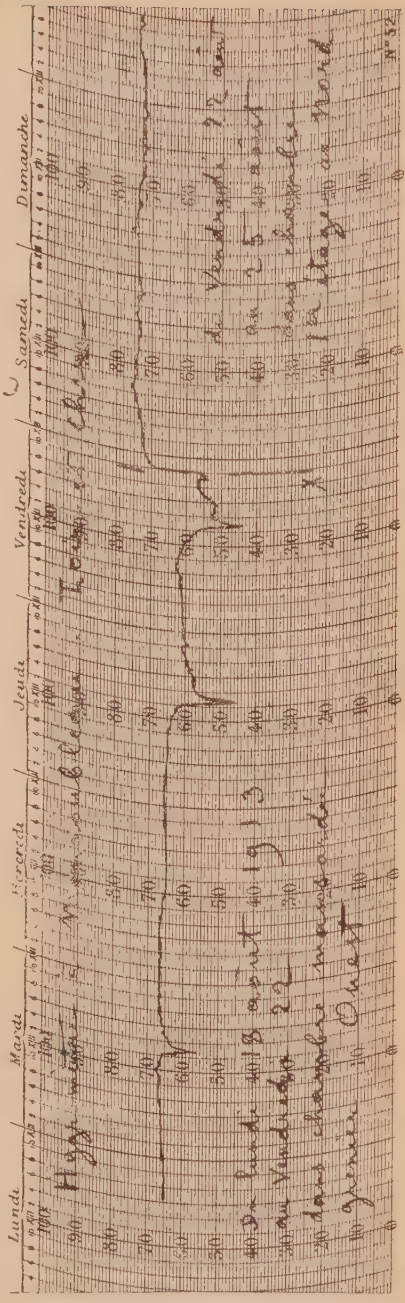


Fig. 37

2° Hygromètre chambre mansardée grenier OUEST puis chambre 1er étage NORD

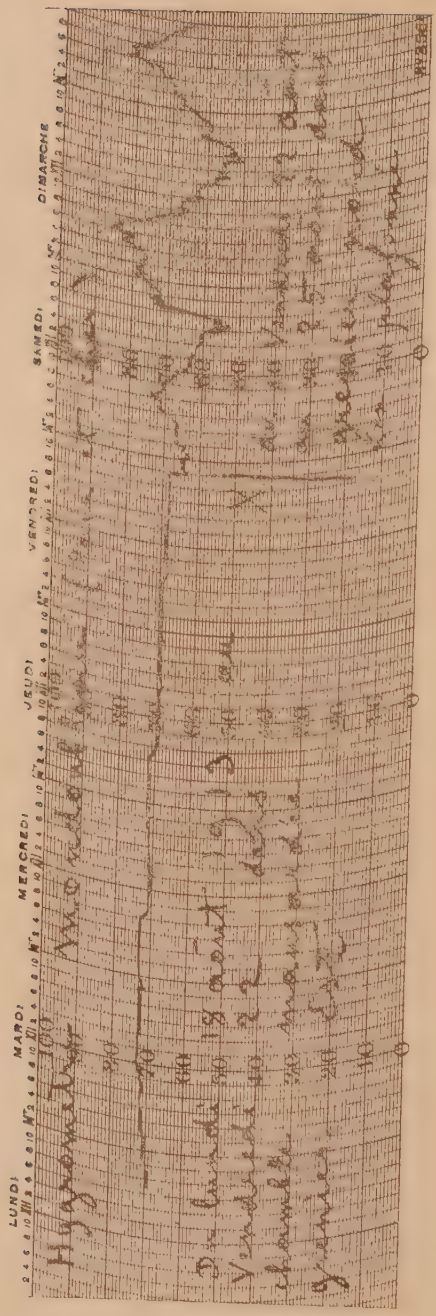


Fig. 38

Hygromètre chambre mansardée grenier EST
puis grenier NORD

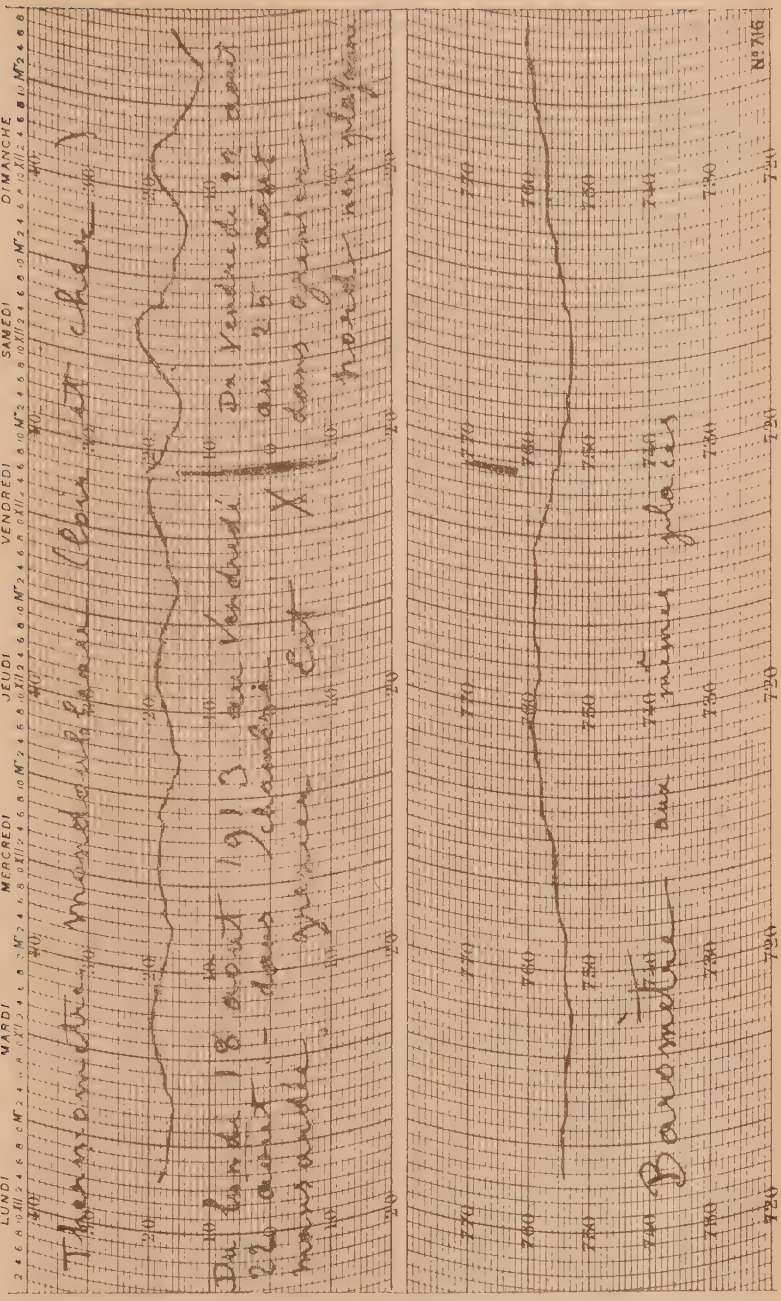


Fig. 39
Thermomètre
chambre mansardée EST
puis grenier NORD

Fig. 40
Baromètre
chambre mansardée EST
puis grenier NORD

A 8 h. 3/4, la pluie tombe, le thermomètre et l'hygromètre oscillent. Le baromètre commence à redescendre. L'impression est très fraîche.

§ 3. — *Variation de la température d'une même pièce selon les heures. — Comparaison entre des pièces diversement exposées* (1).

1° (fig. 36, p. 253). — Voici une chambre mansardée exposée à l'ouest, dont l'observation est représentée dans la partie gauche du graphique (du lundi 18 août au vendredi 22 août 1913). Cette pièce est visitée par le soleil en cette saison vers 2 heures de l'après-midi. — Aussi voit-on sur le graphique le mardi 19 août une élévation brusque jusqu'à 24 degrés, le jeudi jusqu'à 28°1/2 et le vendredi jusqu'à 31 degrés. Entre 6 et 8 heures du matin la température descendait vers 16 degrés ; ensuite elle s'élevait lentement de 9 heures du matin à 1 heure ; puis une ascension brusque de parfois 8 degrés en moins d'une heure. Le coup de soleil passé, il y a une chute rapide de 4 à 5 degrés, puis l'abaissement continue lentement.

On voit à quelles variations thermiques serait soumis le sujet qui habiterait constamment cette pièce.

Nous voyons sur la figure 37 quelles sont les modifications hygrométriques correspondantes dans cette

1. Pour la comparaison de la température à l'intérieur et à l'extérieur aux mêmes heures, voir chapitre V, graphiques du 21 juillet 1913 au 28 juillet, figures 55, 56, 57, 58 et 59, p. 330-332.

chambre. Le mardi 19 août, entre 2 heures et 3 heures de l'après-midi, la chute d'humidité est d'environ 10 centièmes, le jeudi elle est de 18 centièmes en une heure, puis elle remonte de plus de 10 centièmes dans l'heure suivante. La nuit, le niveau hygrométrique est d'environ 65 centièmes, sauf dans la nuit du jeudi au vendredi caractérisée par une sécheresse de 60 centièmes.

Or, pendant la semaine, nous avons noté les renseignements complémentaires suivants :

Le mardi 19 août 1913, belle journée sans pluie. Impression assez chaude quoiqu'il y ait eu peu de soleil.

Le mercredi, temps gris sans pluie ni soleil. Impression douce.

Le jeudi 21 août journée chaude, soleil. Il n'y a eu ni pluie ni vent.

Vendredi 22 août, belle journée, sans pluie ; le soleil brille. Il y a un peu plus d'air que la veille.

Le baromètre a monté du mardi au vendredi (voir fig. 40).

Pendant que la chambre mansardée *ouest* subissait les variations que nous venons d'étudier, — un autre thermomètre et un autre hygromètre traçaient dans une chambre mansardée exposée à l'*est* les graphiques suivants (fig. 39, p. 255) :

La courbe thermométrique est beaucoup plus continue et uniforme, elle ne présente pas de parties anguleuses comme la courbe de la chambre *ouest*. Le mardi, à 2 heures après-midi, elle n'est qu'à

19 degrés, et n'atteint son maximum 19°1/2 qu'à 5 heures du soir (retard de l'échauffement).

Le jeudi le maximum est de 19 degrés entre 4 et 6 heures du soir, le vendredi la température s'élève à peine à 20 degrés (maximum à 4 heures après-midi).

Quant à la courbe de l'humidité, c'est presque une droite avec des chutes en escalier, qui se produisent entre 7 et 8 heures du matin, au moment où le soleil levant éclaire cette pièce (fig. 38, p. 254).

Du vendredi 22 août au lundi 25, les appareils, qui étaient dans la mansarde *est* sont transportés dans le grenier *nord* ouvert à tous les vents.

Le changement de la courbe hygrométrique est complet (fig. 38 partie droite). Les grandes oscillations remplacent la ligne droite. Nous passons de 53 centièmes le samedi soir à 7 heures, à 86 centièmes le dimanche à 6 heures du matin.

Pourtant (fig. 39, partie droite) la courbe thermométrique, quoique exagérant un peu ses variations, n'a pas subi une perturbation analogue.

La journée du samedi n'avait rien présenté de particulier. Le soleil avait brillé et il n'y avait pas eu de pluie. Il y avait un peu de vent, mais l'impression était tiède.

Le dimanche on a une impression de chaleur. Pas de pluie, un peu de vent (sud-ouest).

Le lundi pas de pluie, soleil, impression assez chaude.

Rien ne justifie le changement d'allure de la courbe hygrométrique, rien en dehors du changement de

place. On voit l'influence qu'un simple plafonnage exerce sur les variations météorologiques auxquelles nous pouvons être exposés.

Durant la même période, les deux appareils qui précédemment étaient dans la mansarde *ouest*, — ont maintenant séjourné dans une chambre au premier étage orientée au *nord* (partie droite des fig. 36 et 37).

Le changement est inverse de celui que nous observions sur les figures 38 et 39.

Les courbes deviennent rectilignes.

On voit ici nettement l'influence d'un gros volant thermique comme celui d'une chambre protégée par des murs massifs et par l'étage supérieur.

Toutes les variations de courte durée sont émoussées, comblées par la chaleur, ou l'humidité acquise.

A une certaine profondeur en terre on ne sent plus les variations diurnes, mais on sent encore les variations annuelles dont les longues périodes laissent au volant thermique le temps de se décharger.

L'uniformité de température des caves de l'Observatoire de Paris est proverbiale.

§ 4. — *Comparaison entre les graphiques pris au dehors et ceux pris à l'intérieur d'une habitation pendant la même semaine.*

Nous renvoyons au chapitre V (Remarques sur l'influence de l'humidité) page 330 pour l'examen de

cinq graphiques tracés du 21 au 28 juillet 1913 (fig. 55 à 59, p. 332).

SECTION V

ÉTUDE DES VARIATIONS DE TEMPÉRATURE AU MOYEN D'APPAREILS HOMÉOTHERMES MAINTENUS A TEMPÉRATURE CONSTANTE (*plus chaude ou plus froide*) QUE CELLE DU MONDE EXTÉRIEUR.

Étude des variations brusques du pouvoir refroidissant de l'air. — Nous avons fait cette étude (ainsi que nous l'avons dit au chapitre « Instruments » (1) à l'aide d'une résistance de nickel chauffée par une étuve à température constante.

Le courant qui traverse cette résistance (variable avec le pouvoir refroidissant de l'air) est amené dans un galvanomètre monté sur un pont de Wheatstone.

Premier graphique. — Le spot se déplace sur la fente d'un cylindre enregistreur qui déroule 40 centimètres de papier photographique instantané. Le cylindre accomplit ici un tour complet en six minutes.

Voir figure 41, l'épreuve ainsi obtenue le jeudi 29 janvier 1914, à 9 heures du soir. La résistance était placée à l'extérieur au premier étage dans une petite cour, rue de la Clef, à Paris.

1. Voir p. 228 et fig. 29.

Le thermomètre marquait extérieurement 6 degrés, l'hygromètre 82 centièmes. Le sol de la rue était humide. — L'impression n'était pas froide, mais un peu vibrante. Le vent n'était pas fort, mais assez irrégulier ; en moyenne, un ruban de 50 centimètres de long était dévié de 4 centimètres à la base (demi-amplitude) (1).

L'aspect de la courbe est assez accidenté. On trouve en moyenne une douzaine d'ascensions par minute, mais avec d'incessantes variations dans la vitesse. Les hésitations du pouvoir refroidissant se traduisent par des points très noirs sur le cliché : le spot est resté stationnaire pendant une fraction de seconde.

Ce sont peut-être ces variations, ces rythmes ralentis, puis redoublés, tenus ou hachés qui créent les différences entre les différents vents et leur donnent sur notre organisme une influence analogue à celle de la musique.

A la fin de l'expérience, vers la quatrième minute, le vent fraîchit, l'amplitude augmente en même temps que la fréquence. Il y a moins d'hésitations, d'arrêts en cours de route. Le spot franchit brusquement la distance entre deux points extrêmes très écartés l'un de l'autre.

1. Afin de vérifier que les variations ne venaient pas de la source de chaleur, nous avons coupé la communication entre le secteur et l'étuve après la fin de l'expérience et nous nous sommes assurés que les oscillations du spot continuaient sensiblement les mêmes sous l'influence de la seule chaleur acquise (morte) de l'étuve.

L'original de ce graphique a été fait à l'aide d'une lampe à incandescence à filament unique de charbon.

L'éclairage était un peu insuffisant.

Deuxième graphique

La figure 42 (1) nous présente un autre graphique pris aussi à la vitesse de 40 centimètres en six minutes. L'éclairage était fourni ici par une lampe à arc montée sur le courant alternatif du secteur de la rive gauche. Les interruptions de lumière (2) qui donnent à la courbe l'aspect d'un muscle strié, permettent de compter en combien de fractions de seconde, chaque segment a été parcouru, et de juger des variations de vitesse dans les déplacements du spot.

La résistance chauffée était encore à la même place que pour le graphique précédent (cour, rue de la Clef, à Paris).

Cette courbe a été prise le vendredi 27 mars 1914, à 9 h. 1/2 du soir. Le thermomètre marquait extérieurement 8°1/2, l'hygromètre 65, le vent était faible ; un ruban placé dehors, avait à peine en moyenne 5 millimètres de déviation (1/2 amplitude) sur 40 centimètres de longueur.

---

1. Le deuxième et le troisième graphique (fig. 42 et 43) sont imprimés sur la même planche, p. 260.

Le graphique le plus étroit représente l'image prise à la vitesse de 40 centimètres en six secondes.

Cette petite oscillation étalée n'est qu'une partie détachée d'une grande oscillation.

2. — 42 interruptions par seconde.

L'impression n'était pas froide. Après un orage (à 1 h. 1/2 après-midi) la pluie avait continué.

Troisième graphique (fig. 43)

Il est pris le même jour et à la même heure que le second. Mais avec une vitesse de déroulement du papier sensible soixante fois plus grande. Ici, les 40 centimètres de papier sont passés devant la fente en six secondes. — Nous avons l'impression que cette grande vitesse est en général inutile pour l'ordre de variations que nous étudions. La courbe est trop étalée. La juste proportion serait de 40 centimètres par minute. On aurait ainsi une douzaine d'oscillations suffisamment détaillées dans toutes leurs phases.

Le galvanomètre, très amorti, serait parfaitement capable de suivre des variations beaucoup plus rapides. Ce n'est pas lui qui s'oppose à l'enregistrement d'oscillations plus nombreuses. Il est inutile de faire appel à un oscillographe. Le nombre d'une douzaine d'ascensions par minute semble bien en moyenne caractériser les variations du pouvoir refroidissant de l'air extérieur.

CHAPITRE III

REMARQUES SUR L'INFLUENCE DES VARIATIONS DE L'ÉNERGIE RAYONNÉE

(Actinisme)

SOMMAIRE

Première section. — Distinction entre l'énergie rayonnée et l'énergie calorique. Lois de transformation de l'une en l'autre, p. 264. — § 1er. Différentes espèces de rayons, p. 264. — § 2. Lois de transformation, p. 268. — § 3. Chaleur obscure et chaleur lumineuse, p. 271. — § 4. Facteurs de l'énergie rayonnée (longueur d'onde), p. 273.

Section II. — Influence de l'énergie rayonnée sur le courant de chaleur de notre organisme, sur les fonctions du corps en général et sur nos sensations de température, p. 275. — § 1er Influence sur le courant de chaleur, p. 275. — § 2. Influence sur les fonctions de l'organisme des végétaux et des animaux, p. 275. — § 3. Remarques sur l'énergie rayonnée au point de vue thérapeutique (bains de soleil), p. 280.

Section III. — De l'actinisme en tant que nuance du courant de chaleur, p. 286.

Section IV. — Mesure de l'énergie rayonnée et de ses variations, p. 289.

PREMIÈRE SECTION

Distinction entre l'énergie rayonnée et l'énergie calorique

§ 1er. — *Différentes espèces de rayons*

L'énergie rayonnée n'est à aucun titre de la chaleur. — Chwolson (1) s'élève contre l'emploi de l'expression de « chaleur rayonnante ».

1. Chwolson, *Traité de physique*. Traduction Davaux, Paris, Hermann, 1906, t. II, 1e fascicule, p. 28. « Comme nous voulons

Les appellations de : lumière, d'énergie rayonnée chimique, de chaleur rayonnée, de rayons électriques hertziens sont de nature à créer des confusions. — Il n'y a qu'une énergie rayonnée. C'est, selon notre convention du début (1), l'énergie matérialisée qui a pour matière caractéristique l'éther.

On peut dire seulement ceci :

1° Il existe une énergie rayonnée *plus spécialement transformable* en *énergie calorique*. C'est celle qui a une longueur d'onde voisine de 700 millièmes de microns (2) (7000 unités Angström). De tels

introduire dans cette partie de notre traité, les idées actuelles sur l'énergie rayonnante, nous ne pouvons plus conserver l'ancienne terminologie, qui supposait, d'une part, une différence essentielle entre la lumière et la chaleur rayonnante, et —, d'autre part, une identité complète entre la chaleur, au sens ordinaire du mot, et la forme d'énergie qui se propage par rayonnement dans l'éther. — La signification des termes anciens : *chaleur rayonnante, rayons calorifiques* par exemple, implique la croyance à cette identité. Aussi, nous ne les emploierons pas; car ils reposent sur des idées inexactes et peuvent conduire à des malentendus. »

Voir également Chwolson, t. III, 1er fascicule, p. 20.

1. V. 1re partie, chapitre V, p. 48.

2. Le micron (μ) est le millième de millimètre. On mesure donc les longueurs d'onde en millionièmes de millimètre.

Nous empruntons à la thèse de Nogier, p. 45, Lyon, 1904, le tableau suivant :

	Longueurs d'onde exprimées en millièmes de millimètre comme unité — micron	Nombre de vibrations par seconde (en trillions) —
Milieu du rouge	0.700	428
Milieu du rouge orangé	0.620	484
Milieu de l'orangé	0.597	503
Milieu du jaune orangé	0.588	510
Milieu du jaune	0.580	516
Milieu du vert franc	0.527	568
Milieu du vert bleu	0.508	591
Milieu du bleu cyané	0.496	605
Milieu du bleu	0.473	635
Milieu du bleu violet	0.438	685
Milieu du violet pur	0.405	742

rayons sont transformables en chaleur parce que leur période vibratoire est analogue à la période propre de la matière calorique.

2° D'autres rayons de très courte longueur d'onde (3000 unités Angstrôm) (1) sont plus facilement *transformables en énergie chimique*.

3° D'autres, de longueur d'onde comprise entre 4000 et 7600 unités Angstrôm, sont transformables en énergie de la rétine (énergie lumineuse).

4° D'autres, enfin, de longueur d'onde variant de quelques centimètres à un kilomètre et plus, sont transformables en énergie de la matière électrique.

Mais la longueur d'onde ne donne qu'une première indication sur l'avenir de ces rayons.

C'est le *récepteur résonateur* qui fixera cet avenir en définitive. Pour que cette énergie rayonnée se transforme en énergie de la matière, il faut, en effet, qu'elle soit absorbée par un résonateur. — Quand un rayon a fait vibrer ce récepteur, ce rayon n'existe plus, il a usé son énergie, mais une énergie de la matière a pris naissance.

Chaque sorte de résonateur donne l'espèce d'énergie matérialisée pour laquelle il a été construit : — l'œil donne de la lumière ; — la plaque photographique, une action chimique ; — le noir de fumée, de la chaleur ; — un résonateur de Hertz un courant électrique et des étincelles.

---

1. L'unité Angstrôm est le dixième du millième de millième de millimètre, c'est-à-dire est égale à un dix millionième de millimètre.

Ce serait une erreur de croire que chaque partie du spectre solaire, par exemple, a un rôle exclusif, la région violette ne donnant naissance qu'à de l'énergie chimique, — la partie jaune qu'à de l'énergie lumineuse, — la partie rouge seulement à de l'énergie calorique.

En réalité, on retrouve les trois effets, quoique dans des proportions différentes, dans toutes les régions du spectre. — Et dans chaque région, il n'existe pas trois rayons juxtaposés, chacun capable de produire un effet différent (1). C'est le même rayon dont l'action varie avec le récepteur.

Il n'est pas absolument nécessaire qu'un résonateur soit accordé exactement à l'unisson avec le rayon qui l'excite (2). Des rayons de longueur d'onde de 5 à 7000 unités Angstrôm peuvent exciter le résonateur calorifique. — Un même rayon peut sembler à la fois chimique, lumineux et calorifique, si on le reçoit successivement sur les trois résonateurs correspondant à ces énergies. — Mais, néanmoins, le résonateur vibrera mieux, transformera une plus grande portion de l'énergie rayonnée, quand il sera accordé exactement sur la période du rayon excitateur.

On explique ainsi ce fait qu'un résonateur à lumière parvient à extraire plus d'énergie de l'éther vibrant dans la région jaune que dans la région rouge

1. Nogier, *la Lumière et la vie*. Thèse de médecine. Lyon, 1904, p. 57.

2. Voir 1re partie, chapitre XIV, section V, p. 113. — Un résonateur très amorti vibre pour des périodes assez différentes de la sienne (Bouasse, *Electroptique*, p. 53. Paris, Delagrave).

du spectre, alors qu'en réalité c'est la région rouge qui contient la plus forte proportion d'énergie rayonnée.

Traçons un graphique en portant en *abcisse* les longueurs d'onde des différentes parties du spectre et en *ordonnée* les maxima de rendement de la transformation avec chaque espèce de transformateurs.

Le point culminant de la courbe de rendement sera dans le rouge pour un résonateur corps noir (1), et dans le jaune pour le transformateur à lumière.

§ 2. — *Lois de transformation de l'énergie rayonnée en énergie calorique et réciproquement* (2)

« Considérons quelques-unes des formules qui ont été proposées pour déterminer la grandeur E du flux intégral d'énergie rayonnante, émis par l'unité de surface d'un corps et formé aux dépens de l'énergie calorifique de ce corps. »

Loi de Newton. — La quantité d'énergie rayon-

1. On admet que le corps noir donne la mesure de l'énergie rayonnée totale.

On fait pour cela deux suppositions :

1° On admet que toute l'énergie du rayon est transformée en énergie de la matière ;

2° On admet, en outre, qu'il ne se produit pas d'autre énergie de la matière que de l'énergie calorique ; par exemple, qu'il ne se produit pas de fuite sous forme d'énergie électrique.

2. Chwolson, *Traité de physique*, traduction Davaux. Paris, Hermann, 1906, t. II, 1er fascicule, p. 41.

nante obtenue est proportionnelle à la différence des températures T du corps et Θ du milieu extérieur (1).

$$E = h\,(T - \Theta)$$

Le facteur *h* dépend des *propriétés de la surface* du corps. C'est la quantité de chaleur qui se transforme en énergie rayonnante par unité de surface et de temps quand la différence des températures $T - \Theta = 1$ degré, *h* est le coefficient de conductibilité calorifique extérieure de la surface.

La loi de Newton n'est vraie que si la différence des deux températures n'excède pas cinq degrés.

Loi de Stephan. — Le pouvoir émissif d'une surface (corps noir) est proportionnel à la différence des quatrièmes puissances des températures absolues du corps et du milieu extérieur.

Nous avons eu déjà l'occasion de parler de cette

---

1. Il était bien probable, *a priori*, qu'il devait y avoir une relation entre l'état calorique d'un corps, surtout entre le facteur intensivité calorique et la quantité d'énergie rayonnée, qu'il produit.

Comparons la température à la pression de la vapeur dans une machine, — l'énergie rayonnée représentant la quantité de vapeur qui fuit à travers les défauts de jointure des cylindres, — les fuites seront d'autant plus importantes que la pression sera plus grande.

Il faut bien remarquer que l'énergie rayonnée n'est pas toujours un produit de transformation de l'énergie calorique. L'énergie chimique (corps des vers luisants), l'énergie électrique peuvent se transformer directement en énergie rayonnée sans passer par le stade chaleur sensible. C'est ainsi qu'on a la *lumière froide* des lampes à vapeur de mercure. Dans ces lampes, si la lumière résultait de la température, celle-ci devrait être de 10.000 degrés; or, la lampe fonctionne entre 50 et 200 degrés.

loi (voir page 147, IIe partie, chapitre Ier, section III, § 3).

Loi de Kirchhoff. — Supposons qu'un même corps successivement transforme: 1° de l'énergie rayonnée en énergie calorique sensible (*absorption*); 2° puis transforme de l'énergie calorique sensible en énergie rayonnée, opération qui constitue *l'émission*.

La loi de Kirchhoff dit que: « Le rapport de l'émissoin calorique à l'absorption calorique est *une même grandeur pour tous les corps*. Cette grandeur dépend: 1° de la température du corps et 2° de la longueur d'onde de l'énergie rayonnée dans le cas donné (1). »

Si un corps absorbe tel rayon, il sera capable d'émettre le même rayon.

Loi de Wien. — On parle quelquefois de la température de l'énergie rayonnée. Quel peut être le sens de cette expression assez impropre? — Cela signifie-t-il la température de l'énergie calorique qu'elle peut produire par transformation? — mais le niveau dépend de la grandeur de la capacité qui est appelée à la recueillir.

D'autre part, comme le niveau, dans le réservoir d'arrivée, ne peut jamais être plus élevé que le niveau de la source originaire, ce dernier est intéressant à

---

1. Voir Chwolson, traduction, Paris, t. II, 1er fascicule, p. 57.

Notons que la loi de Kirchhoff s'applique uniquement au cas de transformation d'énergie calorique sensible en énergie rayonnée ou réciproquement.

Elle ne s'applique nullement aux transformations d'énergie électrique ou chimique en énergie rayonnée.

connaître ; il est donc probable qu'on entend par « température de l'énergie rayonnée », la température de l'énergie calorique qui, par transformation, a donné l'énergie rayonnée en cause.

Il existe une loi, dite loi de Wien, d'après laquelle on peut calculer la température absolue d'une source lointaine, d'une étoile par exemple.

On cherche pour quelle longueur d'onde, dans le spectre de l'étoile, le rayonnement étudié donne la déviation maxima du galvanomètre et on applique la formule

$$\left(\begin{matrix}\text{longueur d'onde}\\ \text{du maximum}\end{matrix}\right) = \frac{\text{(Constante A)}}{\text{(Température absolue)}}$$

d'où l'on déduit la température (1).

§ 3. — *Différence d'action de la chaleur obscure et de la chaleur lumineuse*

Nous retrouvons ici une conséquence de la confusion, que nous signalions au début de ce chapitre, entre l'énergie rayonnée et l'énergie calorique.

1. Enoncé de la loi de Wien (1894). La longueur d'onde qui correspond au maximum de l'émission du corps absolument noir est inversement proportionnelle à la température absolue de ce dernier.

$$\left(\lambda_{m}\right) T = A$$

Chwolson, *Traité de physique*, t. II, p. 73.

Un corps chaud émet une certaine quantité d'énergie rayonnée ; — par exemple, un quart seulement de cette énergie émise est sous forme de rayon de *courte longueur d'onde*, et le reste a une grande longueur d'onde (énergie dégradée selon M. Berthelot).

Augmentons la température du corps. Maintenant, ce seront les trois quarts de l'énergie rayonnée qu'il produit, qui seront sous la forme noble de rayons à courte longueur d'onde.

On se pose la question suivante : pourquoi la chaleur lumineuse n'agit-elle pas comme la chaleur obscure, alors qu'elle est à la même température que la seconde.

C'est là un de ces pseudo-problèmes, de ces problèmes apparents (selon l'expression d'Ostwald (1) et de Mach), qui dérivent surtout du défaut de clarté dans les termes employés. — En fait, la chaleur lumineuse n'est pas une variété de chaleur ; c'est de la chaleur qui se trouve accompagnée d'une énergie étrangère, sur laquelle la température actuelle ne fournit aucun renseignement. Autant vaudrait demander pourquoi de l'eau additionnée d'acide sulfurique agit différemment de l'eau pure.

Cette énergie rayonnée, qui est superposée à l'énergie calorique sensible, obtient son effet indépendamment de l'action de la chaleur ; elle peut, notamment en se transformant directement en énergie chimique, contrarier la réaction que la chaleur sensible tendait à produire

Supposons l'équilibre chimique suivant

$$2\,SO^2 + O^2 = 2\,SO^3$$

Sous l'influence d'une *chaleur obscure* à 800 degrés, 80 o/o de l'anhydride sulfureux sera à l'état dissocié.

Mais avec 800 degrés de *chaleur lumineuse*, l'anhydride sulfureux n'existera plus dissocié que dans la proportion de 43 o/o.

1. Ostwald, *l'Evolution d'une science, la chimie.* Paris, Flammarion, 1909, p. 328.

Ici la lumière agit en sens inverse de la chaleur.

Du reste, la lumière (ou pour mieux dire l'énergie rayonnée) agit de façon très différente selon sa longueur d'onde. L'énergie ultra-violette décompose l'acide chlorhydrique en hydrogène et chlore, alors que la lumière de moyenne longueur d'onde produit la combinaison de ces deux éléments (1).

M. Vallot, directeur de l'Observatoire du Mont-Blanc, a signalé une *synergie* de la lumière et de la chaleur : « J'ai pensé que la chaleur pouvait avoir une influence en *présence de la lumière*. J'ai mis côte à côte des cuvettes d'acide oxalique chauffées et d'autres non chauffées, et j'ai constaté que la moindre augmentation de température augmentait la décomposition de l'acide oxalique dans des proportions inattendues (2). »

§ 4. — *Facteurs de l'énergie rayonnée*

D'après les travaux de M. Daniel Berthelot, c'est la *fréquence* des vibrations qui joue ici le rôle de notre facteur *intensivité*, le même rôle que la température pour l'énergie calorique sensible.

« Les rayons de courte longueur d'onde représentent une forme d'énergie plus noble, moins dégradée que les rayons de grande longueur d'onde : c'est ce qui explique que dans les processus chimiques et biolo-

1. M. Victor Henri, cours de photochimie à la Sorbonne.

2. Congrès de thalassothérapie de Cannes, 1914. Rapport de J. Vallot, Paris (*Gazette des eaux*, p. 30 du rapport).

giques, l'importance des rayons bleus, violets et ultra-violets du spectre soit prépondérante, et qu'ils produisent une multitude de réactions que les rayons de grande longueur d'onde sont impuissants à réaliser, alors même qu'ils véhiculent des quantités d'énergie plusieurs centaines de fois aussi considérables.

« On conçoit par là qu'en se plaçant devant une cheminée où est allumé un bon feu, on puisse avoir plus chaud qu'au soleil, mais qu'on n'obtienne nullement le même effet tonifiant pour l'organisme. Dans la radiation solaire, il y a bien autre chose que la chaleur (1). »

Nous retrouvons là toujours la distinction des effets de nos deux facteurs. Quand il s'agit de produire un changement important et local, un effet de choc, c'est toujours le facteur intensivité, la force vive qui doivent être grands.

Les grosses masses à faible vitesse, les grandes quantités de mouvement à faible proportion de force vive, sont incapables de réaliser certaines modifications difficiles.

Avec une lampe à mercure (courtes longueurs d'onde), M. Daniel Berthelot a pu réaliser *in vitro* les mêmes synthèses chimiques que font les plantes (hydrates de carbone) et qui constituent un relève-

1. Rapport de M. Daniel Berthelot au Congrès de thalassothérapie de Cannes, 1914, p. 13.

ment du potentiel chimique. Et ces réactions, sous l'influence de cette énergie rayonnée, se font à basse température.

SECTION II

INFLUENCE DE L'ÉNERGIE RAYONNÉE SUR LE COURANT DE CHALEUR DE NOTRE ORGANISME — SUR LES FONCTIONS DU CORPS EN GÉNÉRAL — ET SUR NOS SENSATIONS DE TEMPÉRATURE.

§ 1. — *Influence sur le courant de chaleur*

L'énergie rayonnée peut se transformer en chaleur, soit dans l'air qu'elle échauffe peu, soit au contact de la terre, soit dans notre organisme. Elle contribue, dans ce cas, à la variation de la température soit extérieure, soit intérieure, et par conséquent elle a une influence sur le courant de chaleur (variation de la différence de potentiel entre les deux sources).

§ 2. — *Influence sur les fonctions de l'organisme des végétaux et des animaux*

Mais l'énergie rayonnée peut aussi se changer directement en nous, en énergie mécanique ou bien en énergie chimique (quoique cela soit moins apparent que dans les végétaux), sans passer par le stade d'énergie calorique.

« Si l'on commence à connaître les résultats et les

modifications terminales apportés par l'action du soleil sur les êtres vivants, les processus intimes qui ont amené ces phénomènes ne sont qu'entrevus. L'expérimentation est difficile à conduire, les modifications physiologiques dues à la lumière étant difficilement séparées de celles provoquées par tous les agents atmosphériques ; en outre, il faut tenir compte de ce que les téguments et les organes des sens forment les intermédiaires obligatoires entre les radiations solaires et les réactions viscérales, et que, dans l'organisme, le système nerveux, qui cherche à coordonner tous les phénomènes, tend à rétablir l'équilibre troublé par un agent extérieur (1). »

La lumière et un excitant des fonctions cellulaires, excitant qui est favorable ou nuisible selon le dosage de l'énergie fournie et selon les besoins de chaque organisme.

Parmi les végétaux, « les bactéries et les champignons qui vivent et prospèrent toujours dans l'obscurité, montrent que la lumière n'est pas une condition nécessaire. Mais elle est indispensable à tous les organismes adaptés à l'organisation photo-synthétique de leur nourriture » (2).

Pour les plantes qui sont adaptées à la lumière,

1. Rapport du professeur Albert Robin et du Dr H. Bith au Congrès de thalassothérapie de Cannes, 1914, p. 59.

2. Pfeffer (Leipzig), *Physiologie végétale*, t. II. — *Échange d'énergie*, traduction Friedel. Paris, Steinheil, 1912, p. 100.

un séjour à l'obscurité produit l'étiolement (absence de verdissement, allongement des entre-nœuds, petitesse des feuilles).

L'action chlorophyllienne de formation des substances alimentaires est entravée par l'obscurité.

Mais là encore il y a une question de mesure. Chaque plante meurt quand l'intensité lumineuse atteint une limite qui varie suivant les espèces. Cette limite supérieure ne peut être atteinte dans la nature pour les plantes qui prospèrent normalement en plein soleil, mais elle peut l'être pour les plantes d'ombre typiques qui meurent, au bout d'un temps plus ou moins long, lorsqu'elles se trouvent en plein soleil. Les bactéries se comportent de même; certaines ne croissent déjà plus à la lumière diffuse (1).

On a étudié l'effet des différentes radiations sur les végétaux, soit par la méthode du spectre, soit par la méthode des écrans colorés (verre coloré, liquides colorés).

Nogier (2) rappelle les expériences du général Pleasanton qui planta (avril 1861) une vigne dans une serre éclairée par des vitres en verre violet. Dès le mois de septembre, chaque plant avait déjà 15 mètres de long. Au bout de dix-sept mois, cette vigne donna 1.200 livres de raisin.

On a essayé l'action des rayons de Rœntgen sur les végétaux sans arriver à des conclusions nettes (3).

1. Pfeffer, *Échanges d'énergie*. Paris, Steinheil, p. 111.
2. Thèse de médecine de Lyon, 1904, p. 300.
3. Pfeffer, *Échanges d'énergie*, p. 125.

Phototropisme. — Une conséquence de l'action de la lumière sur la croissance des organes peut être, en cas d'éclairement unilatéral, l'inclinaison de la plante du côté du jour (phototropisme positif) ou en sens inverse (phototropisme négatif). Dans le premier cas, le développement des cellules éclairées est retardé, l'activité des cellules du côté opposé est plus grande et la tige devient concave du côté de la lumière (1).

Phototactisme. — En dehors de toute question de croissance, l'action de la lumière peut produire dans la plante des migrations ou des déformations du protoplasma, qui aboutissent à des mouvements des organes.

C'est ainsi que les feuilles de la sensitive ont une position diurne et une position nocturne (mouvements nyctitropiques) dues à la turgescence du renflement moteur par suite de l'arrêt de la vaporisation de l'eau dans les feuilles. L'effet est rapide; une suppression brusque de la lumière amène un arrêt soudain de la chlorovaporisation (Daguillon, p. 428).

Action de la lumière sur les animaux. — Cette action est aussi nette que sur les végétaux.

Béclard (2) le premier, en 1858, étudie l'effet des rayons colorés sur les animaux. Il place des œufs de mouches sous des cloches de verre de différentes

1. Daguillon, *Leçons de Botanique*. Paris, Belin, 1903, p. 417-423.

2. Comptes rendus Académie des Sciences, t. XLVI, 1859.

couleurs. Au cinquième jour, les vers sont très développés dans la cloche violette et très peu avancés dans la cloche verte.

Citons une expérience de Leredde et Pautrier (1). Ces auteurs divisent en trois lots des têtards de *rana temporaria* pêchés le même jour, dans la même mare et d'égal développement, on leur donne même nourriture, mais on les divise en trois lots : le premier placé dans un aquarium de verre rouge — le deuxième dans un aquarium bleu — le troisième comme témoin dans un aquarium blanc ; — l'éclairage était vif.

Au bout d'un mois, tous les têtards élevés à la lumière rouge étaient peu développés, avaient encore leur queue, un seul avait des pattes. Dans l'aquarium bleu, tous avaient quatre pattes et la membrane caudale avait disparu (2).

---

1. *Photothérapie et Photobiologie.* Paris, Naud, 1903, p. 66 et Comptes rendus Société de Biologie, 1901, n° 41, t. LIII.

2. La lumière a une *action mécanique* sur les animaux. Elle influence leurs mouvements. R. Dubois (*les Élatérides lumineux*. Paris, 1886, p. 218) montre que si on masque l'un des fanaux de ces animaux, leur trajectoire s'incurve du côté éclairé.

Certains animaux préfèrent la lumière de telle couleur. Les abeilles rechercheraient le bleu. — Les limaces se dirigent vers le rouge.

Cette sensibilité à la lumière colorée existe même chez les animaux privés d'yeux. Les lombrics fuient le violet (Gruber, *Action de la lumière sur les lombrics*. Sitzungsber der K. K. Akademie zu Wien, 1883, vol. 87). — Nogier, thèse, p. 305.

Les *effets chimiques* de la lumière peuvent être locaux, par exemple en déterminant la formation des pigments (Bohm, *Évolution des pigments (Collection Scientia)*.

Mais surtout elle produit des effets généraux en accélérant les fonctions organiques et les échanges avec le monde extérieur.

§ 3. — *Remarques sur l'énergie rayonnée au point de vue thérapeutique (Bains de soleil)*

Tous les praticiens des bains de soleil ont chanté les louanges de la lumière.

« Ce qu'il y a de plus délicieux pour l'être physique, c'est un bain de lumière pris par un ciel serein à une température moyenne de 14 à 16 degrés Réaumur.

» Cet état presque paradisiaque suscite chez tous une étonnante sensation de bien-être, une animation et une conscience de soi supérieures. Nous ne pouvons concevoir un bain plus fortifiant pour les nerfs que celui-là (1). »

On s'aperçoit d'autant mieux des effets de la lumière sur notre organisme quand on en a été privé, après une période de brouillards froids, ou bien lorsque, l'hiver, on quitte le climat parisien pour aller se réchauffer, se revivifier sur les bords de la Méditerranée.

« Quand après une journée couverte, après un brouillard humide, le soleil traverse les nuages, c'est aussitôt un changement dans la nature qui semble ressuscitée ; les fleurs et les feuilles se dressent et prennent un aspect de fraîcheur, la vie et la mobilité

1. Arnold Rikli, médecin naturel à Veldes (Carniole), *Médecine naturelle et bains de soleil*, traduction Lausanne, Bridel, 1905, p. 57. Voir aussi rapports de Chiais, de Monteuuis au Congrès de climatothérapie de Nice, 1907.

semblent renaître ; les papillons, les abeilles, les mouches et les libellules voltigent gaiement, les lézards et les reptiles sortent de leurs cachettes pour venir s'ébattre au chaud soleil, les oiseaux entonnent leur chant joyeux ; l'homme lui-même, sans qu'il s'en doute, subit cette impression de bien-être et de plénitude vitale, il se sent plus fort et plus vivant, la lumière a donc bien été pour lui un « excitateur de la vie » (1).

Nos sensations thermiques ne sont pas très précises, et il s'établit facilement une confusion entre la sensation de chaleur et la sensation de lumière. Les deux se fondent en une sensation de bien-être qui est un total dans lequel un peu plus de lumière compense facilement un peu moins de chaleur.

Il serait intéressant de rechercher si les aveugles sont plus frileux que les voyants, ou bien si l'ensemble de la peau a chez eux une fonction actinique comme chez les vers de terre, leur permettant de sentir la différence entre une journée ensoleillée et un temps gris, indépendamment de la température.

« Le soleil est un véritable aliment », a dit Monteuuis (2). Et la meilleure preuve est l'alimentation

1. Chatin et Carle, *Photothérapie, — la lumière*. Collection Léauté. Paris, Masson.

2. Nous ne nous nourrissons pas seulement de matière, mais aussi d'énergie. D'Arsonval a écrit : « Nous vivons dans deux mondes distincts : le monde de la matière et le monde de l'énergie. Les corps simples, carbone, azote, oxygène, hydrogène, dont est composé l'être vivant, appartiennent à la matière ; le travail, la chaleur, l'électricité et d'autres manifestations plus compliquées dont cet être vivant est le siège, appartiennent au monde de

très réduite des hommes du Midi, des Arabes, des nègres.

« La cure solaire ne se contente pas de supprimer la douleur, elle donne encore à l'individu une sensation de bien-être extraordinaire, une euphorie tout à fait particulière, que doivent connaître les lazzaroni de Naples. Cet état de bonheur, de tranquillité, tient à l'action tonique du soleil sur l'état général, sur les fonctions respiratoires et circulatoires et sur la nutrition, action qui permet d'utiliser avec un rendement merveilleux, les matériaux mis à la disposition de l'organisme, augmentant l'appétit, activant les échanges, brûlant en les oxydant, les déchets et les éliminant complètement, car la diurèse et la sudation sont augmentées (1). »

Nogier (thèse, p. 318) dit que ce qui a fait la solidité des premiers hommes, c'est le contact perpétuel de leur corps avec les rayons du soleil : ils étaient imprégnés de lumière.

Avec les progrès de la civilisation on a pris le contre-pied des habitudes antiques.

Selon Monteuuis (2), « dans les conditions habituelles de l'existence la peau est en état de misère physiologique, tant son fonctionnement est impar-

l'énergie. En dehors de l'être vivant, ces deux mondes, qui ont leur histoire et leurs phénomènes distincts, intéressent des sciences différentes » (*Pathologie générale*, t. I).

Voir aussi Dastre, *la Vie et la Mort*. Paris, Flammarion — et cours à la Sorbonne.

1. Professeur Albert Robin et Dr Bith. Rapport au Congrès de thalassothérapie, avril 1914, p. 109.

2. Rapport au Congrès de climatothérapie de Nice, 1907.

fait ; elle ne remplit son rôle intégral que lorsqu'elle vit en contact avec l'atmosphère ».

Le remède, selon cet auteur, est dans les bains d'air et les bains de soleil.

Rikli, dans son enfance, gagnait souvent une rangée de collines (près de Berne) où, à la lisière d'un bois, étendu sur ses vêtements, il s'exposait au soleil, pendant quinze minutes (1).

De nos jours, où l'héliothérapie est venue en faveur, on a créé en divers endroits, notamment sur le littoral méditerranéen, des stations de cure de soleil. Là, dans des parcs entourés de hautes clôtures en planches, les sujets s'exposent au soleil, vêtus d'un costume de bain ou même d'un simple peignoir flottant.

Selon l'impression qu'ils éprouvent, ils peuvent ou bien rester étendus au soleil sur une chaise longue, ou bien se promener pour empêcher l'envahissement du froid.

Si le soleil est un peu vif, il faut abriter la tête par un chapeau de paille.

On surveille les effets de la transformation de l'énergie rayonnée en chaleur à l'intérieur du corps, afin de ne pas laisser la température monter à un niveau dangereux. Le thermomètre est placé dans la bouche du sujet. C'est là qu'on est averti en premier lieu de l'effet de surchauffe, parce que l'acide

1. Rikli, *Médecine naturelle*, p. 33.

carbonique exhalé par la respiration absorbe très facilement les radiations obscures tandis qu'il circule avec le sang.

Rikli soumettait parfois ses malades à des températures excessives. Préoccupé du principe de l'élimination des produits toxiques, il recherchait la sudation — et sa cure intensive aboutissait souvent au surmenage.

Monteuuis définit le bain de soleil par la température obtenue dans l'air auprès du sujet, température qui doit être au moins égale à 30 degrés, — et surtout par la sensation excitante que doit éprouver le sujet.

Au-dessous de cette température, en l'absence de cette sensation, il n'y a plus qu'un *simple bain de lumière*, dont les effets sont plutôt calmants.

Les malades traités sont en général des nerveux, des sujets atteints d'un ralentissement de la nutrition, des obèses. L'excitation de la peau sous l'influence de la lumière régularise les fonctions, décongestionne les organes profonds.

Mais l'héliothérapie est appliquée au traitement d'autres affections, notamment de la tuberculose pulmonaire et de la tuberculose chirurgicale.

Nous avons pu, il y a quelques jours, visiter le service d'héliothérapie de l'hôpital de la ville de Nice. Là, dans une longue galerie largement ouverte à l'est, mais abritée des courants d'air, une cinquantaine d'enfants de cinq à quinze ans restent exposés une grande partie de la journée découverts sur leur lit. La plupart de ces petits malades sont atteints de

tuberculose osseuse (maux de Pott, coxalgies, etc.) ; un grand nombre sont porteurs d'abcès ouverts.

La posologie de la cure héliothérapique doit être surveillée au début, puis lorsqu'on s'est assuré que le malade supporte bien le traitement, notamment lorsque sa peau se pigmente assez rapidement, on peut prolonger les séances, découvrir des régions de plus en plus étendues du corps.

Le Dr d'Œlsnitz tient compte, pour son pronostic et pour le traitement, de différents éléments dont sa pratique lui a montré l'importance.

Normalement, la température doit s'élever au cours du bain de soleil, puis redescendre, mais être encore, au bout d'une heure après le bain, plus élevée qu'au début de la séance.

Le pouls doit augmenter pendant le bain, et ensuite redescendre à un chiffre de pulsations plus faible qu'avant le bain.

Quant à la respiration, elle doit être de même type que le pouls.

Si l'on observe des modifications à cette règle chez un malade, il faut le surveiller et n'appliquer la cure qu'avec ménagement (1).

Toutes les parties du spectre agissent-elles de même au point de vue thérapeutique ?— Toutes contiennent des rayons chimiques, mais elles ne sont pas toutes capables d'agir à la même profondeur.

1. D'Œlsnitz, Rapport au Congrès de thalassothérapie et *Journal médical français*. Paris, Poinat, 25 novembre 1913.

Tandis que les rayons rouges et jaunes sont capables de traverser le corps, éclairent la main par transparence, les rayons violets sont très peu pénétrants et ne peuvent guère agir qu'en surface. Il serait illusoire de compter sur ces rayons actifs pour modifier des lésions profondes (1).

SECTION III

De l'actinisme en tant que nuance du courant de chaleur

En parlant de la sensation de température, nous disions qu'une même température de 20 degrés, par exemple, pouvait offrir bien des nuances capables de la rendre méconnaissable, et de produire sur nous des effets totalement différents (2). Ce sont comme des harmoniques, des timbres surajoutés au son fondamental.

Or, l'actinisme est une de ces nuances, un de ces timbres surajouté au courant de chaleur fondamental.

Ce n'est pas la même chose d'avoir 20 degrés avec le soleil ou par le brouillard.

Mais le chauffage artificiel nous fournit aussi un exemple excellent. Ce n'est pas la même chose l'hiver, d'avoir dans une pièce, 20 degrés fournis par

1. Voir Rapport du professeur Robin et du Dr Bith, p. 69 (Congrès de thalassothérapie, 1914).

2. Chaleur lourde — Chaleur cuisante — Chaleur avec de l'air — Chaleur à soleil vif — Chaleur de ciel couvert — Froid noir...

un poêle en fonte ou bien par un poêle en faïence.

Les 20 degrés du poêle de faïence vous procurent une sensation de chaleur douce et agréable. Ceux du poêle en fonte déterminent une impression cuisante au visage et donnent mal à la tête (1).

Quelle est la cause de cette différence ? C'est que le poêle en fonte produit, outre la chaleur sensible, quelque autre chose, une énergie parasite et gênante.

Un exemple fera mieux saisir notre pensée. Au lieu d'utiliser un poêle, nous pourrions aussi bien, pour nous chauffer l'hiver, employer le procédé nouveau de la thermo-pénétration électrique. — Au lieu de transformer l'énergie chimique de la houille en chaleur, nous transformerions l'énergie électrique en chaleur, et cela à l'intérieur de nous-même, ce qui évite la dégradation de l'énergie par trop grande extensité.

Nous pourrions employer un courant électrique continu, ou l'alternatif du secteur. Il produirait exactement la même température en nous, pour une même dépense d'énergie électrique, que le courant à haute fréquence.

Seulement, ce courant électrique à basse fréquence a d'autres effets à côté de l'effet calorifique.

Employé à ampérage suffisant pour nous chauffer, il agirait sur le système nerveux au point de déterminer des réflexes mortels, — et d'ailleurs son action

1. C'est la même impression qu'éprouvait Foucault en présence d'étincelles électriques longues et froides,

[illegible] un peu de temps [illegible] d'application.

Le courant à haute fréquence, qui ne distinguerait pas du premier au seul point de vue de l'échauffement, est dépourvu des deux autres effets. Il est donc le seul utilisable pratiquement.

Le poêle de Salomon, c'est le courant à haute fréquence qui ne produit que de la chaleur sensible.

Le poêle de [illegible], c'est le courant électrique à basse fréquence. Il produit, outre la chaleur sensible, de l'énergie rayonnante de longueur d'onde convenable pour exciter désagréablement nos terminaisons nerveuses.

Nous nous sommes souvent demandé pourquoi on avait l'habitude de placer sur les poêles en [illegible] un vase contenant de l'eau. On atténue réellement ainsi les effets fâcheux. Nous n'avons la nulle part une explication de ceci.

Voici celle qui nous vient à l'esprit, mais que nous n'avons pu vérifier. La vapeur d'eau répandue dans l'air de la pièce formerait écran en arrêtant les radiations de longueur d'onde relativement courte, et ne laisserait subsister que la chaleur sensible.

Un thermomètre abrité contre la radiation directe ignorerait la différence entre les deux poêles.

Ceci nous montre une fois de plus, combien le thermomètre est insuffisant pour renseigner le médecin.

Nos sensations thermiques, malgré leur défaut de finesse, malgré la confusion qu'elles font entre la

chaleur sensible et une foule d'énergies étrangères, sont encore le guide le plus sûr en bien des cas.

SECTION IV

Mesure de l'énergie rayonnée et de ses variations

Être convaincu des bienfaits de l'héliothérapie est fort bien. Mais il est nécessaire de posséder quelques principes scientifiques pour se guider dans l'application de cette thérapeutique. Il faut dégager les méthodes de l'empirisme qui a marqué leur début. Et, en premier lieu, il faut découvrir un moyen de mesurer l'action de l'énergie rayonnée.

C'est là ce qu'entend le Dr d'Œlsnitz lorsqu'il parle de « posologie de l'héliothérapie » (1).

Or, beaucoup de médecins — se laissant conduire uniquement par leur sensibilité thermique, dont nous avons indiqué le peu de discernement en ce qui touche la cause des impressions — ne voient pas encore les difficultés du problème.

Le malade, exposé en plein air, est soumis notamment à deux sortes d'énergies : 1° l'énergie calorique sensible de l'air ambiant ; — 2° l'énergie rayonnée.

Avec quelques précautions, en abritant notre thermomètre contre les radiations directes, ou bien en le

1. Rapport du Dr d'Œlsnitz au Congrès de thalassothérapie de Nice, avril 1914. Paris (*Gazette des eaux*).

faisant tourner en fronde, nous arriverons bien à mesurer la température du « fond de l'air ».

Mais l'énergie rayonnée, comment la mesurer ? On pourrait essayer de le faire en la transformant en énergie calorique à l'aide du thermomètre lui-même exposé directement aux radiations. Mais c'est là un bien mauvais résonateur et un instrument bien infidèle pour cet usage. Il est impossible de comparer entre elles les données fournies par les différents thermomètres placés au soleil.

Pour avoir une idée des divergences possibles, M. Vallot (directeur de l'Observatoire du mont Blanc) a exposé ensemble au soleil une série de 28 thermomètres de toute forme et de toute nature (qui marquaient la même température à l'ombre).

Lorsqu'ils eurent cessé leur ascension et pris leur équilibre, il releva la température de chacun d'eux au soleil. Il trouva que les uns ne différaient que de 1 degré d'un thermomètre témoin laissé à l'ombre, les autres de 2, les autres de 6, de 7, de 8, de 12, de 23 et même de 34°9 du même témoin.

« Ces exemples conduisent à la conclusion que la température au soleil, considérée comme élément météorologique, est une utopie (1). »

Mais si l'on ne peut pas mesurer la température du rayon de soleil, puisque ce n'est pas de l'énergie

1. Vallot, Rapport au Congrès de thalassothérapie de Nice, avril 1914, p. 6.

calorique toute faite, il faut construire un appareil toujours comparable à lui-même et qui rende toujours le même nombre de calories pour un même nombre d'unités d'énergie rayonnée qui tombent sur lui.

Cet instrument était nécessaire aux médecins qui pratiquent l'héliothérapie.

Sur la demande des Sociétés de Médecine et de Climatologie du littoral, M. Vallot a fait établir un appareil robuste et facile à manier, qui est suffisant pour les besoins journaliers.

Il lui a donné le nom d'*héliothermomètre*.

Il est constitué par un thermomètre ordinaire dont le réservoir est enfermé dans une boule de laiton creuse et noircie de 8 à 10 centimètres de diamètre, la paroi ayant une épaisseur de 1 millimètre.

On expose en plein air l'instrument, dont la température s'élève sous l'influence des radiations, mais est limitée par le refroidissement dû à l'état de l'air. En sorte que l'appareil mesure assez bien les deux influences que doit connaître le médecin en chaque cas.

« Une demi-heure avant le bain de soleil, l'instrument est disposé *à la place que doit occuper le malade*. S'il ne s'élève qu'à une température de 20 degrés par exemple, le sujet doit être soigneusement garanti, car il peut se refroidir. — Si l'appareil monte à 35 degrés, la température est parfaite, le sujet peut se baigner en plein air. — Si l'appareil monte à 50 degrés, la température est trop élevée, le

bain serait dangereux sans précautions spéciales » (écrans, courte durée) (1).

L'instrument de M. Vallot, grâce à sa masse, à son volant thermique, donne des moyennes et n'est pas sensible aux variations de trop courte durée (2).

En se reportant aux graphiques que nous avons obtenus avec notre baro-thermo-hygromètre (à la vitesse de déroulement du papier de 8 centimètres à l'heure) (fig. 33 et 34, page 250) — on verra que la température totale (celle du fond de l'air, plus celle résultant de la transformation de l'énergie rayonnée) n'est nullement constante.

Soit que l'énergie rayonnée varie, soit que le pouvoir refroidissant de l'air subisse des changements, il peut y avoir des sautes de plusieurs degrés en quelques minutes, en quelques secondes même, si l'on

---

1. *La Question des températures au soleil et l'héliothermomètre de Vallot*, par Maurice Faure (*Bulletin de la Société de Médecine de Nice*, avril 1914, p. 164).

2. Voici une autre complication. Nous recevons les radiations de deux sources : 1° du soleil ; 2° du ciel. Cette dernière devient la principale source d'énergie rayonnée lorsque le soleil est voilé. Des nuages blancs dans le ciel renvoient une quantité d'énergie très importante. Sur le bord de la mer la lumière se réfléchit à la surface des vagues.

Un sujet soumis à la radiation peut se trouver dans trois cas :

1° Si le soleil brille et que le sujet reçoive l'insolation par une fenêtre ouverte, il ne reçoit guère que la radiation solaire ;

2° Si le sujet est à l'extérieur, il reçoit la radiation solaire augmentée de la radiation du ciel ;

3° Lorsque le temps est couvert il n'y a plus que la radiation du ciel et des nuages.

Or, beaucoup d'instruments ne mesurent que la radiation solaire directe (Vallot, Rapport au Congrès de thalassothérapie de Cannes, 1914, p. 31).

se reporte à nos courbes obtenues photographiquement à l'aide d'un instrument de très faible inertie (V. fig. 41 et 42, p. 260).

Le sujet, dont la sensibilité cutanée n'est pas encore émoussée par l'habitude, fera bien de se méfier de ces variations lors de ses premiers bains de lumière.

M. Vallot, dans son rapport, passe en revue tous les instruments de laboratoire destinés à mesurer l'énergie rayonnée. Tous ont leurs inconvénients.

L'actinomètre statique de Violle à deux boules, l'une noircie, l'autre dorée, devrait permettre, en comparant les indications des deux thermomètres qu'elles contiennent, de calculer les calories fournies ; mais l'instrument varie d'une expérience à l'autre et ne donne pas de résultats comparables.

L'actinomètre enregistreur électrique de Crova reçoit les radiations solaires sur une pile thermo-électrique dont le courant fait osciller un galvanomètre à miroir avec enregistrement photographique. Malheureusement la pile est exposée à toutes les causes de refroidissement et l'appareil enregistre les coups de vent tout autant que les variations de l'actinisme solaire.

M. Vallot a perfectionné cet instrument en garnissant d'une lame de quartz le cône antérieur de la pile. Il évite les courants d'air. Mais l'appareil, dans ces conditions, doit avoir un gros volant thermique et il doit être incapable d'obéir aux variations rapides de l'énergie rayonnée.

Angstrôm a construit un actinomètre formé de

deux parties identiques ; l'une des soudures est chauffée par transformation de l'énergie rayonnée à étudier, et l'autre soudure par transformation d'un courant d'énergie électrique qu'il est facile de mesurer.

Si l'échauffement des deux soudures est égal, leur action sur un galvanomètre est nulle.

Il est donc facile, connaissant l'énergie électrique dépensée d'un côté, de calculer l'énergie rayonnée reçue de l'autre sur la surface noircie.

Nous n'avons point pratiqué cet instrument qui est d'une installation difficile et d'un prix très élevé. Il nous semble qu'il ne doit pas indiquer les variations très rapides du pouvoir actinique.

Tous les instruments de mesure basés sur la transformation de l'énergie rayonnée en énergie calorique doivent, semble-t-il, se heurter à la même difficulté. Ou bien ils sont à l'air libre, exposés aux refroidissements du chef des coups de vent, ou bien ils sont protégés par une enveloppe de grande masse, sont entourés d'une certaine quantité d'air contenu dans l'enveloppe. Alors leur température ne peut pas varier rapidement.

Pour qu'ils puissent enregistrer les variations rapides de l'énergie rayonnée, il faudrait qu'ils fussent homéothermes, que leur température tendît sans cesse à baisser sous l'influence d'un courant refroidissant à température constante. On pourrait avoir un bolomètre enfermé dans une très petite enveloppe, infiniment mince, de cuivre rouge munie en avant

d'une lame de quartz et baignée sur les autres faces d'un courant d'eau à température constante. A chaque instant la quantité d'énergie calorique reçue par transformation de l'énergie rayonnée tendrait à l'écarter de cette température constante, mais l'effet serait détruit l'instant d'après, il n'y aurait pas de résidu et on pourrait apprécier ce qui revient à chaque instant (1).

Avec de telles données on pourrait entreprendre une étude qui se rapprocherait de l'objet du présent travail, l'étude de la vitesse de variation de l'énergie rayonnée, et de l'influence que cette variation peut avoir sur l'organisme.

---

1. Peut-être est-il plus simple d'utiliser un actinomètre chimique, dans lequel un cylindre présenterait successivement sous la fente couverte par le spectre solaire les diverses parties d'une feuille de papier au gélatino-bromure. On aurait ainsi une série de lignes qui seraient à certain moment plus foncées l'une que l'autre et indiqueraient les variations dans la composition de l'énergie rayonnée incidente.

Le Dr d'Œlsnitz et M. Chrétien, de l'observatoire de Nice, font en ce moment construire un actinomètre photographique à l'aide duquel on prendra plusieurs clichés par jour, chaque petite fenêtre de l'écran correspond à une longueur d'onde connue (Rapport du Dr d'Œlsnitz, *Congrès thalassothérapie*, 1914, p. 15).

CHAPITRE IV

REMARQUES SUR L'INFLUENCE DU VENT

ET DES COURANTS D'AIR

SOMMAIRE

Première section. — Caractères et localisations des courants d'air, p. 296. — § 1er. Intermittence, p. 296. — § 2. Vitesse et force du vent, p. 302. — § 3. Quelques types usuels de courant d'air, p. 305.

Section II. — Mode d'action du vent, p. 308. — § 1er. Action refroidissante (ou échauffante), p. 308. — § 2. Action mécanique du vent, p. 309. — § 3. Vent et humidité, p. 311.

Section III. — Quelques remarques sur le rôle du vent au point de vue pathologique et thérapeutique, p. 311.

PREMIÈRE SECTION

Caractères et localisations des courants d'air

§ 1. — *Intermittence*

On se fait des idées assez fausses sur le vent, idées entretenues au besoin par la vue des moulins à vent et même des moulinets d'anémomètres. Ils tournent avec une certaine constance, les uns parce qu'ils ont une grande inertie et une vitesse acquise qui leur permet de continuer leur mouvement pendant les

accalmies, — les autres parce qu'ils sont placés à une grande hauteur dans une région où réellement le déplacement d'air est plus régulier, ressemble plus à l'écoulement d'un fleuve.

Mais nous, qui sommes à la surface du sol, nous vivons au milieu des remous d'air, des tourbillons. Pour nous, la définition donnée par Bouasse (1) est bien exacte : le vent est une succession de rafales.

Il est des cas où le souffle est tellement bref et change de sens si souvent, qu'un petit anémomètre à main en aluminium (2) d'inertie infime n'a pas le temps de se mettre en mouvement. Il commence à tourner dans un sens pendant une fraction de seconde, puis il tourne en sens inverse pendant un temps aussi court ; finalement il s'arrête ; il y a interférence.

Si nous nous en rapportions aux données de l'instrument physique, nous supposerions qu'il n'y a pas de vent. — Et cependant nos sensations protestent.

Au cours du dernier hiver, nous avons fait maintes fois l'expérience à une fenêtre donnant sur une courette. A l'aide d'un petit anémomètre à main à moulinet d'aluminium extrêmement léger (2), muni d'un compte seconde, nous voulions déterminer la vitesse du vent. Le moulinet ne tournait pas, au milieu de remous violents qui produisaient sur nos terminaisons nerveuses une vive impression.

---

1. *Mécanique physique*, 2e édition. Paris, Delagrave, 1913, p. 388.

2. Voir figure 44, partie droite, p. 299.

Il y a là une infériorité résultant du montage de tous les appareils rotatoires. Quand la brusquerie du changement de direction s'ajoute à la brusquerie de la variation de débit, il n'y a que les appareils pendulaires qui puissent avoir assez de sensibilité, ou bien les appareils vibratoires (parmi lesquels nous pouvons supposer rangées les terminaisons nerveuses thermiques).

Même parmi les appareils pendulaires, si l'on veut avoir une sensibilité approchant de celle de nos terminaisons nerveuses, il faut choisir des corps de bien faible masse. — Nous nous souvenons que, durant l'hiver 1910-1911, à Nice, lorsque nous relevions à la nuit la température de nos thermomètres placés au jardin, et que nous prenions note en même temps de la force du vent, — souvent une légère banderole placée à l'extrémité d'un mât, pendait inerte le long de sa hampe, — alors que la flamme de notre bougie était éteinte plusieurs fois de suite par des souffles très courts et de très faible débit.

Ces coups de vent étaient incapables de vaincre l'inertie d'une bande d'étoffe légère de 80 centimètres de long sur 1 centimètre de large.

Depuis lors, nous avons employé plusieurs fois la flamme d'une bougie, concurremment avec le procédé des effilochures de coton, pour faire des sondages, rechercher les courants d'air et les remous à l'intérieur des appartements.

Nous avons étudié au point de vue mécanique la fréquence d'oscillation du vent au moyen de petits

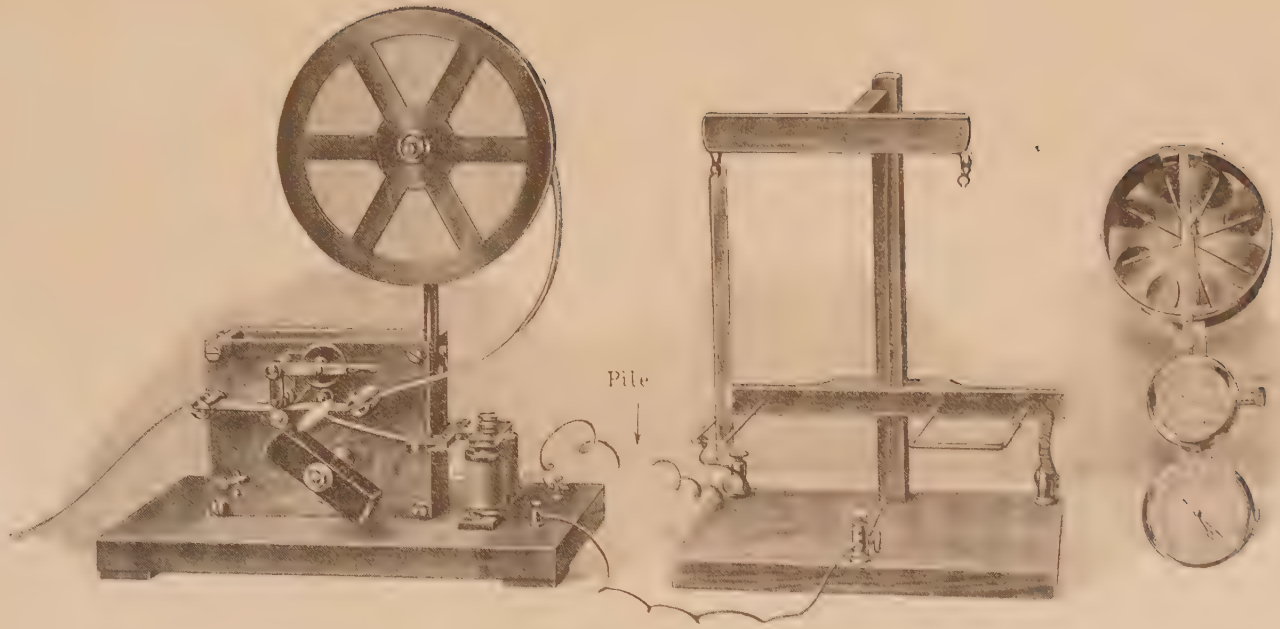


Fig. 44

Récepteur Morse pointant les coups de vent

Oscillateur à lame d'étain

Anémomètre à compteur de secondes

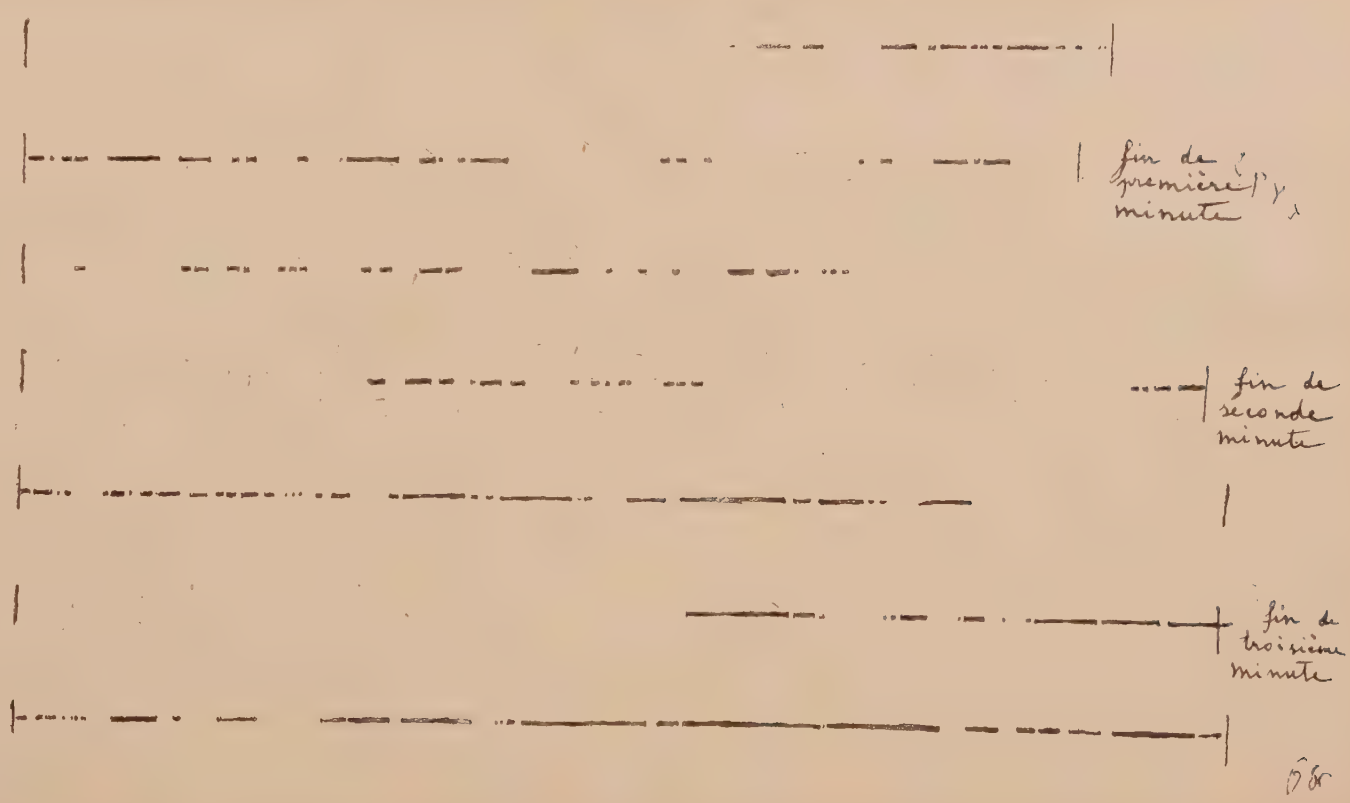

Etude d'une brise légère, à l'aide d'un oscillateur à lame d'étain et d'un Récepteur télégraphique Morse. Paris rue de la Clef dans une petite cour
Mardi 24 février 1914 3 heures 3/4 après midi - beau temps
fin de première minute
fin de seconde minute
fin de troisième minute
186

Fig. 45. — Rythme des coups de vent — (oscillateur à lame d'étain)

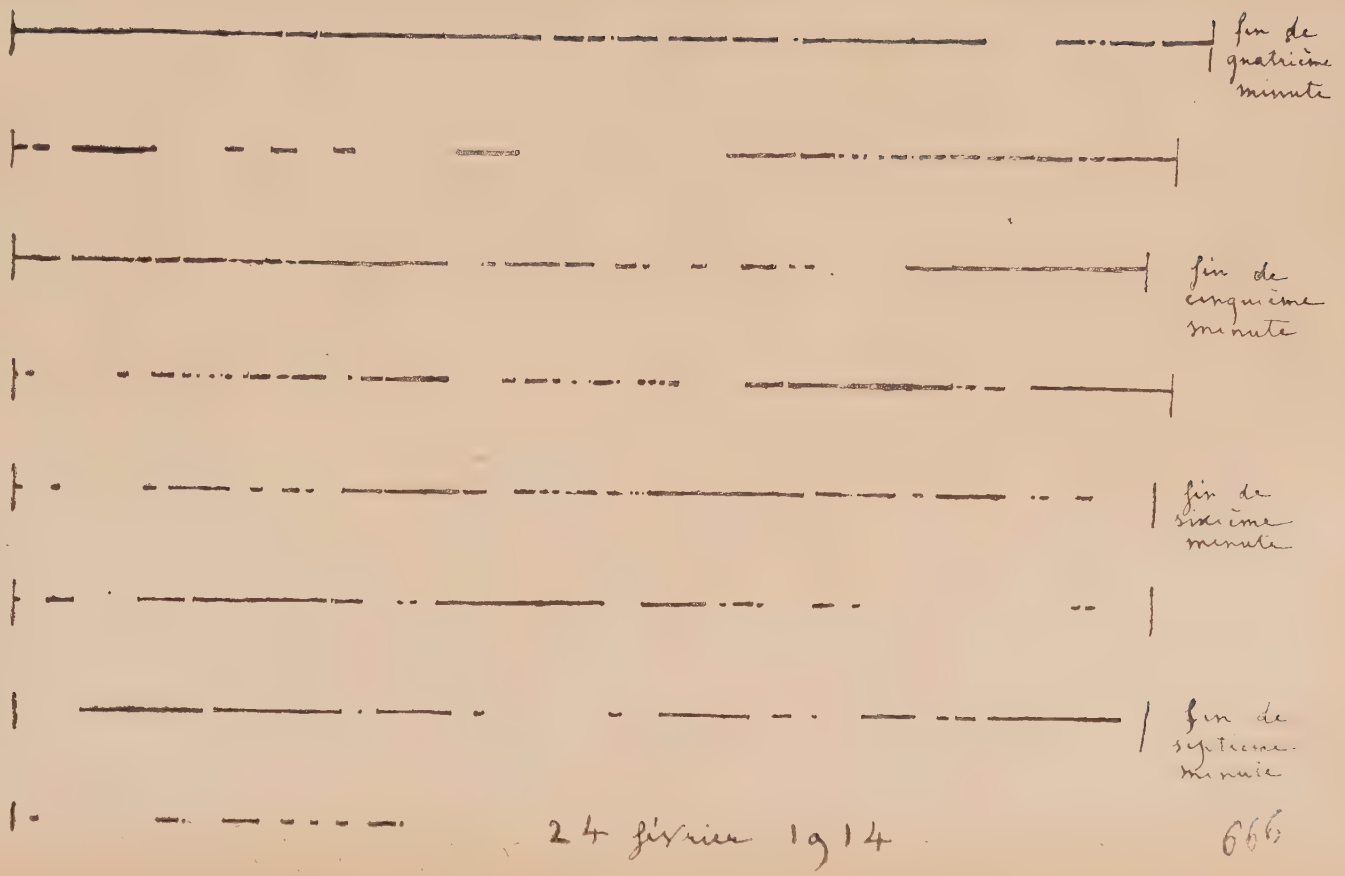


Fig. 46. — Rythme des coups de vent — (oscillateur à lame d'étain)

pendules (voir chap. I : « Instruments », p. 235) — ou bien au moyen d'une lame d'étain mince (fig. 44) (1) oscillant au centre d'un cadre horizontal de cuivre rouge. Chaque coup de vent donnait un contact électrique qui déterminait un tracé sur la bande d'un récepteur de télégraphe Morse. Le récepteur déroulait 50 centimètres de papier par minute et voici (fig. 45 et 46) le tracé que nous avons obtenu. L'oscillateur à lame d'étain était placé au dehors, au premier étage, à une fenêtre donnant sur une petite cour (à Paris).

On avait l'impression d'un vent très faible qui, du reste, ne faisait pas tourner le petit anémomètre à main.

Nous avons obtenu en moyenne une quarantaine de contacts par minute, mais très irréguliers comme durée. Certains coups de vent durent à peine un dixième de seconde, d'autres sont tenus deux ou trois secondes. Certains repos ont duré quinze secondes, d'autres un vingtième de seconde (2).

§ 2. — *Vitesse et force du vent*

La vitesse s'apprécie en mètres de vent passé par seconde, c'est-à-dire en mètres parcourus en une seconde par une molécule d'air individualisée. Les

---

1. Page 299.

2. Voir fig. 23, p. 215. — Fig. 33, p. 250. — Fig. 34, p. 250 pour l'étude du coup de vent au point de vue du pouvoir refroidissant.

anémomètres à moulinet sont calculés de façon à donner ce nombre avec une exactitude plus ou moins grande. Un tour complet de l'anémomètre de Robinson représente 5 mètres de vent passé.

La force du vent est donnée par sa pression, par *l'amplitude* du déplacement qu'il imprime à un pendule. Au reste la force du vent dépend de sa vitesse.

Il y a peu d'années encore, l'emploi des anémomètres n'était guère répandu, même dans les ports maritimes. — *L'Abrégé des Instructions météorologiques*, publié en 1902 par M. Angot au Bureau central météorologique, n'indique pour la vitesse du vent que la notation *à l'estime*.

Degré	Désignation	Force du vent
0	calme	Les fumées s'élèvent verticalement ; les feuilles des arbres restent immobiles.
1	faible	Sensible aux mains et à la figure ; fait remuer un drapeau ; agite les feuilles légères.
2	modéré	Fait flotter un drapeau ; agite les feuilles et les petites branches.
3	assez fort	Agite les grosses branches des arbres.
4	fort	Plie les grosses branches et les troncs de petit diamètre.
5	violent	Secoue violemment tous les arbres ; brise les petites branches.
6	ouragan	Renverse les cheminées ; enlève les toits des maisons ; brise et déracine les arbres.

Voici les renseignements que Debesson fournit aux constructeurs de calorifères à air chaud, qui ne doivent pas créer dans les appartements de courants d'air gênants.

« Une vitesse de 0 m. 50 à 0 m. 60 par seconde

n'est pas très sensible. Un mètre par seconde donne la sensation d'une légère brise ; 1 m. 50 à 2 mètres devient presque gênant ; 5 mètres est la vitesse d'une forte brise ; 10 mètres celle d'un vent violent (1). »

A 5 mètres par seconde les chapeaux sont enlevés. — A 10 mètres les tuyaux de tôle placés au sommet des cheminées sont fortement ébranlés.

La vitesse du vent varie d'un point à un autre selon les obstacles qu'il rencontre (frottement).

La vitesse moyenne a été trouvée de 9 mètres en hiver à l'altitude de 300 mètres (tour Eiffel), tandis qu'à 20 mètres du sol elle n'était plus que de 2 m. 20.

D'après les mesures que nous avons faites rue Monge à Paris, à 1 mètre au-dessus de sol, ce n'est qu'assez rarement qu'on obtient une vitesse de 2 mètres par seconde. Souvent on n'atteint pas 50 centimètres.

A Mondoubleau (Loir-et-Cher), nous obtenions à la même heure des moyennes très différentes selon que nous nous placions dans un jardin entouré d'un rideau d'arbres (vitesse maxima 1 m. 50 dans une observation) — ou bien en plein champ : vitesse maxima 5 mètres par seconde.

Il est très difficile, du reste, de prendre autre chose que des moyennes. L'anémomètre orienté dans le sens du vent (en se guidant sur la direction d'un fil flottant), on embraye en même temps le compteur de

---

1. Debesson, *le Chauffage des habitations*. Paris, Dunod, 1908, p. 644.

tours et le compte secondes (1). On arrête les deux mécanismes au bout de dix secondes. Puis on divise le nombre obtenu par le nombre de secondes. On a la vitesse moyenne par seconde.

Mais le plus souvent la vitesse change trois ou quatre fois en dix secondes. Elle peut être d'un mètre pendant une demi-seconde, de 5 mètres pendant deux secondes, puis de 50 centimètres, avec reprise de vitesse, à la fin. Parfois un coup violent dure une fraction de seconde et il est suivi d'un calme absolu quoique peu durable.

§ 3. — *Quelques types usuels de courant d'air*

Les rues, selon qu'elles sont orientées dans le sens du vent ou perpendiculairement au vent, — sont le siège de courants d'air ou bien offrent une atmosphère calme. Certaines localités, comme Menton, sont complètement protégées contre les vents froids du nord par la montagne qui les surplombe.

Dans les pièces d'un appartement, dans les compartiments de chemin de fer, on sent parfois des courants d'air en des points qu'on supposerait calmes *a priori*. Il s'est produit des tourbillons. L'air qui a frappé directement l'une des parois est réfléchi, et se dirige dans des régions éloignées de toute ouverture. — Inutile de dire que ces courants d'air, ces pulsations si désagréables pour certaines personnes ne peuvent

1. Voir figure 44, p. 299, partie droite.

pas être mesurés par un anémomètre. Pour les déceler, il faut une flamme de bougie, ou un fil de toile d'araignée.

Il arrive que dans les escaliers, on sente des courants d'air qui paraissent extrêmement violents. En général, d'après nos mesures, ils n'atteignent pas un mètre par seconde. Ils produisent sur nous la même impression que nous donnerait un vent de 5 mètres par seconde à l'air libre.

Nous avons été assez surpris de constater que ces courants d'air d'escalier changent souvent de sens. La loi d'ascension du gaz chaud exigerait que le vent allât toujours de bas en haut. Cependant, à certains moments, il y a inversion; le courant d'air descend du grenier pour sortir par la porte du rez-de-chaussée. Ici, l'inconvénient est faible, mais on conçoit que, lorsqu'un semblable phénomène se produit dans une cheminée, la fumée et les gaz soient refoulés dans les appartements.

Des courants d'air sentis dans le lit. — Maurel a fait une étude statique des températures cubiliales (1). Il trouve constamment une différence de un degré entre la température du lit prise au voisinage du tronc du sujet et celle prise près des pieds. Mais ce qui nous intéresse ici, ce sont les courants d'air qui peuvent exister entre l'intérieur du lit et l'atmosphère de la chambre. Il nous est arrivé parfois de nous réveiller légèrement enroué, avec une

1. Nous empruntons à Maurel (Compte rendu Société de Biologie, 1905, page 847) le tableau suivant indiquant les tempéra-

sensation désagréable de froid uniquement parce que, en nous agitant pendant le sommeil, nous avions débordé nos couvertures. Ce phénomène peut être assez fréquent dans les hôtels de Suisse, où l'usage est d'employer des draps à peine aussi larges que les

---

tures maxima à l'intérieur du lit au voisinage du corps du sujet.

Température maxima et minima de l'appartement	Température maxima TRONC	Sensation	Température maxima PIEDS	Sensation
17° à 21	35°2	Moiteur	34°3	Chaleur
18 à 19	35,5	Moiteur	34,4	Chaleur
18 à 20	36,6	Sueur	35	
19 à 21	35,8	Moiteur	34,8	Moiteur
19 à 22	34,9	Chaleur	32,4	Froideur
20 à 21	35,7	Moiteur	34,4	Chaleur
20 à 23	36,3	Sueur	34,5	Moiteur
22 à 25	36,5	Sueur	35,2	Sueur
23 à 24	35,5	Moiteur	34,3	Chaleur
24 à 26	36,7	Sueur	35,5	Moiteur
Moyennes :	35,84		34,52	

Il résulte donc de ces observations :

« 1° Qu'avec les mêmes couvertures, la température cubiliale près des pieds est inférieure à celle du tronc de plus de 1 degré (1° 32) ;

» 2° Que le zéro physiologique près des pieds, dans le lit, doit être dans les environs de 33 degrés, puisque avec 32°4, je n'en ai eu qu'une sensation de fraîcheur, et qu'au contraire, j'ai toujours eu au moins de la chaleur avec 3 °3, 34°4, etc. ;

» 3° Enfin, et c'est ce qui nous intéresse plus particulièrement ici, que quelle qu'ait été la température de l'appartement, sauf pour une fois, la température cubiliale des pieds, de même que celle du tronc, a toujours dépassé celles qui donnent une sensation indifférente. C'est qu'en effet, j'ai suivi la température de l'appartement, et que je me suis toujours assez couvert pour obtenir autour de moi une température à ma convenance, et comme, en ce qui me concerne, je ne trouve le sommeil réparateur que lorsqu'il s'accompagne d'une certaine moiteur, je me couvre toujours assez pour la provoquer. » (MAUREL)

lits qu'ils garnissent. Les frileux aiment être serrés dans leurs draps et il faut pour cela un rentré d'au moins 30 centimètres de chaque côté, sous le premier matelas.

Mais il survient alors un autre inconvénient. Le drap trop tendu, est soulevé au passage du cou et passe en pont au-dessus des deux épaules qu'il laisse découvertes. Par ces deux ouvertures, on a une sensation très nette de courant d'air. Certaines personnes s'enveloppent d'un châle à l'intérieur du lit. En pareil cas, nous conseillerions aux frileux un oreiller entaillé de façon que deux languettes se rabattent sur les épaules.

SECTION II

Mode d'action du vent

§ 1. *Action refroidissante (ou échauffante)*

Au point de vue thermique, le vent, quelle que soit sa vitesse, n'a aucune action, en principe (1), sur un corps qui est à la *même température que lui*. Les ventilateurs perdent leur utilité lorsque le fond de l'air est aux environs de 35 degrés. Les thermomètres ordinaires, qui sont en équilibre de température avec l'air ambiant, ne varient pas sous l'influence des coups de vent, à moins que le vent ne soit plus froid que le fond de l'air.

1. S'il se produit des décompressions d'air, il y a refroidissement.

Mais le vent fait sentir son action aux corps *plus chauds que l'air*. Il agit en détruisant la gaine mince d'air chaud qui protégeait ces corps.

La défense procurée par les vêtements est proportionnellement plus grande avec un vent fort qu'avec un vent de faible vitesse.

Lefèvre, après d'Arsonval, a étudié la question(1). Il a trouvé pour un homme de 65 kilos :

1° Dans un courant d'air faible (de 1 m. 20 par seconde) à 9 degrés : assis et nu, 134 calories par heure ; — assis et habillé légèrement, 79 calories (rapport 1,36) ;

2° Dans un courant d'air fort (de 4 mètres par seconde) à 4 degrés : assis et nu, 313 calories par heure ; — assis et habillé légèrement, 170 calories (rapport voisin de 2).

Le vêtement nous protège en conservant la gaine d'air chaud que le vent tendrait à balayer.

§ 2. — *Action mécanique du vent*

Même dans les cas où le vent est à peu près à la même température que le corps, il n'est pas dépourvu d'influence sur nous.

Son action est alors d'origine mécanique. Il produit un effet analogue au chatouillement (2). La sen-

1. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 405.

2. On sait que certains chatouillements, notamment à la plante des pieds, finissent par devenir très désagréables lorsqu'ils se prolongent.

La sensation produite par le frottement d'une barbe de plume

sation produite par un vent léger, mais vibrant à la période de nos terminaisons nerveuses peut être beaucoup plus vive que celle procurée par un grand vent à amples variations. Chacun a éprouvé les effets des vents courts pressés, coupants, qui engendrent les grippes de printemps notamment dans les semaines qui précèdent Pâques.

L'impression donnée par les vents coulis est bien connue. On répète qu'il vaut beaucoup mieux avoir sa fenêtre grande ouverte, même par le froid, que de s'exposer au filet d'air qui passe par une fenêtre entre-bâillée.

Nous avons cherché à soumettre le phénomène à l'observation, notamment le 23 novembre 1912 à 7 h. 1/2 du matin. Après avoir constaté que le spot d'un galvanomètre sensible (un demi-centimètre par degré) se tenait à la division 50 de l'échelle lorsque la soudure variable de la pile thermo-électrique était au milieu du laboratoire, — nous avons placé cette soudure près de la fente qui existait au bas d'une fenêtre, dans une de ces lames d'air qui vous *coupent les doigts*, et vous donnent une sensation glaciale.

Le galvanomètre a été peu influencé. Le spot s'est s'est déplacé lentement et s'est fixé à la division 49. —

est parfois beaucoup plus pénible que celle donnée par un contact brutal. Il y a là un phénomène de sommation, de résonance.

« La tendance à frotter la surface chatouillée est une tendance à faire intervenir une excitation plus forte pour écarter les effets de l'excitation moindre » (Sanford, *Psychologie*, Paris, 1900, p. 22).

Ayant placé la soudure à l'extérieur dans la cour, le spot est venu à la division 47°2. — La deuxième soudure était maintenue à la température constante du laboratoire au milieu d'une masse formant volant thermique.

Il résulte de cette observation que la sensation glaciale produite par ce courant d'air n'était pas due à un refroidissement intense, mais plutôt à une action mécanique.

Nous n'avons pas encore essayé, il est vrai, une étude analogue à l'aide d'une soudure homéotherme (chauffée à température constante).

§ 3. — *Vent et humidité*

Le vent qui vient de terre est sec, en général ; le mistral, par exemple, est froid et desséchant. Quand il s'élève, la courbe des hygromètres descend et la sensation d'humidité disparaît.

En Algérie, le sirocco ne débute pas, paraît-il, sous forme d'un vent violent. Les habitants d'Alger, étendus le soir sur leur terrasse, voient tout à coup, en quelques minutes, disparaître l'humidité qui trempait les balcons. On ne sent encore aucun souffle ; c'est une chaleur qui descend d'en haut et dessèche tout.

SECTION III

Quelques remarques sur le rôle du vent aux points de vue pathologique et thérapeutique

« Les gens du monde surtout croient beaucoup à l'influence des vents (1), et, dans nos pays du Nord, les mots « courant d'air » sont synonymes de beaucoup de maladies, telles qu'angines, bronchites et même conjonctivites graves, comme la conjonctivite granuleuse, par exemple.

» C'est surtout en matière de coryza que les courants d'air sont pris à parti et nous avons tous entendu des gens s'invectiver à propos d'une fenêtre trop largement ouverte (2). »

Mais le vent a ses défenseurs qui croient que les nerveux et même les tuberculeux ont souvent à gagner à s'exposer aux brises de mer ou de montagne. La Compagnie de navigation sur le lac de Genève a créé des billets de séjour à bord de ses vapeurs.

---

1. « Les vents ont été accusés d'être les vecteurs du choléra, de la variole, de la grippe, de la fièvre des foins, etc.; d'apporter jusqu'à Lyon le paludisme des Dombes, de causer des épidémies de fièvre typhoïde, en aspirant à la surface les germes du sol (Pettenkoffer). — En réalité, ils peuvent favoriser les affections catarrhales et rhumatismales, surtout par les poussières microbiennes qu'ils transportent et par les variations plus ou moins brusques de température et d'humidité qu'ils déterminent. De plus, la marche contre le vent est une cause occasionnelle des accès d'angine de poitrine » (*Traité d'Hygiène de Chantemesse, Brouardel et Mosny*, 1er fascicule, p. 91).

2. Dewevre (de Petite-Synthe), Rapport au Congrès de Climatothérapie de Cannes, 1907.

Quel est l'effet de la brise? Elle produit sur la peau une sorte d'action de massage. Elle balaye certains produits d'élimination qui, dans un air calme, resteraient concentrés dans la gaine aérienne enveloppant notre corps ; — enfin, excitant les combustions, elle favorise si bien l'absorption de l'oxygène que certains malades en éprouvent une sorte d'ivresse (1).

Le Dr Dewevre a soumis des nerveux à un traitement par un courant d'air de 2 mètres par seconde à la température de 18 degrés (ventilateur électrique). Les sujets recevaient le vent sur la région du dos mise à nu. Les séances étaient journalières et duraient une demi-heure.

Au bout d'un mois, les fonctions digestives étaient nettement améliorées, le sommeil était meilleur, l'aptitude au travail plus grande. Sous l'influence de cette douche aérienne dorsale, le nombre et l'amplitude des mouvements respiratoires étaient augmentés.

A la suite de marche contre des vents très violents et qui coupaient absolument la respiration (à Berck-sur-Mer, Pas-de-Calais) nous avons constaté plusieurs fois sur nous-même un insurmontable besoin de sommeil.

Il est des gens qui ne sauraient vivre que dans un courant d'air. Ils croient étouffer dès que les portes et les fenêtres restent un instant fermées. Peut-être est-ce un peu une mode. A ce point de vue, les

1. Murat, *les Voyages de santé sur mer. — Cure marine de la tuberculose pulmonaire et de la neurasthénie*. Paris, Jouve, 1906.

hôtels fréquentés par les Anglo-Américains sont un séjour assez dangereux, lorsqu'on rentre baigné de sueur après une longue course.

Le courant d'air peut avoir sa raison d'être pour des ouvriers qui se livrent à un travail pénible. Ce courant d'air leur évite l'effort nécessaire pour lutter contre l'excès de chaleur (1).

Le frileux a une véritable horreur des courants d'air, qui créent en lui une surexcitation pénible, une sorte de fièvre avec sueur froide, une incapacité à réfléchir.

Peut-on s'habituer aux courants d'air ? — Oui dans une certaine mesure, les terminaisons nerveuses du froid s'épuisent par un trop grand exercice. Il est certain que les sujets traités quelque temps par les bains d'air deviennent moins frileux et ont plus chaud en simple veston de toile qu'ils n'avaient auparavant avec leur pardessus d'hiver.

---

1. 1° Soit un ouvrier qui produit en travaillant 3 cal. 45 à la minute (5000 calories pour vingt-quatre heures) sa température limite de résistance au chaud sera voisine de 12 degrés, s'il est nu dans un courant d'air ; — elle tombera à 4°50 s'il travaille habillé dans le même courant d'air, — et 0°75 s'il travaille habillé dans une atmosphère calme.

2° Soit un autre sujet en exercice qui développe 2 calories par minute (correspondant à 3000 calories en 24 heures). On voit qu'il n'a pas à lutter contre le chaud tant qu'il travaille à une température inférieure à 20 degrés, s'il est dans le courant d'air ; — à 14 degrés s'il est habillé dans le même courant d'air ; — à 10 ou 11 degrés, s'il est habillé et reste en atmosphère calme (Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 474).

CHAPITRE V

REMARQUES SUR L'INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ SUR LE COURANT DE CHALEUR ET SUR LA SENSATION DE CHALEUR

SOMMAIRE

Première section.—Définition physique de l'humidité.—Influence de l'humidité sur la circulation de la chaleur, p. 315.
Section II. — Quelques observations météorologiques, p. 320. — § 1. Allure générale des graphiques, p. 320. — § 2. Relation entre l'humidité, le soleil et le vent, p. 323. — § 3. Pluie et humidité, p. 325. — § 4. Comparaison entre l'humidité à l'intérieur des habitations et l'humidité à l'extérieur au même moment, p. 333.
Section III. — Définition médicale de l'humidité, p. 340.
Section IV. — Sens de l'humidité, p. 345.

PREMIÈRE SECTION

Définition physique de l'humidité
Influence de l'humidité sur la circulation de la chaleur

Au point de vue thermique, l'humidité peut être une cause de création ou d'augmentation du courant de chaleur en produisant une *dénivellation*, en abaissant la température au point où l'eau s'évapore. C'est ce qui a lieu lorsque nous nous arrêtons baignés de sueur au milieu d'un courant d'air.

Mais, surtout, l'humidité est une cause de variation de la *résistance* au courant de chaleur.

L'air sec est très résistant pour le courant de chaleur. Si l'on représente la *conductibilité* thermique du cuivre par le nombre 1,040, — celle de l'air sera de 0,0000008. — Celle de l'eau est beaucoup plus grande 0,001 (1).

Le mélange d'air et de vapeur d'eau, qui constitue l'humidité, sera d'autant plus conducteur que la proportion d'eau y sera plus considérable.

Comment mesurer la quantité d'eau contenue dans 1 mètre cube d'air ? Il serait long et difficile de le dessécher complètement et de peser l'eau extraite. — Mais on peut remarquer qu'à une température donnée, le poids d'eau contenu dans 1 mètre cube d'air est proportionnel à la pression de cette vapeur d'eau. — La pression de la vapeur d'eau et l'*humidité absolue* sont représentées par le même nombre.

Mais cette connaissance du poids d'eau contenu dans un mètre cube d'air nous intéresse médiocrement.

Ce qu'il nous faut savoir, c'est le moment où cette eau aérienne menace de se retransformer en liquide capable de nous mouiller.

Or cette *propriété de mouiller* ne dépend pas seulement du poids d'eau par mètre cube, elle dépend aussi de la température. Voici donc un autre sens du

1. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 398.

mot humide : c'est la *facilité à mouiller*. — L'été, par une journée *sèche*, il y a bien plus d'eau dans l'air que l'hiver par un temps humide. Seulement l'été cette eau est sous une forme *inactive* ; elle est dissimulée.

On dit : la vapeur d'eau ne peut pas avoir une pression supérieure à F pour une température donnée. Au delà de cette pression commence la condensation (qui la rend liquide et active sur nos organes).

Il est peut-être plus clair de matérialiser les choses de la façon suivante : Un mètre cube d'air pourrait être comparé à un réservoir de capacité extensible avec la température. Il peut contenir une certaine quantité d'eau sans qu'elle déborde lorsque cet air est chaud. Il en contient beaucoup moins lorsqu'il est froid.

Or, ce qui nous intéresse c'est l'eau qui déborde (point de saturation). C'est cette eau qui produit la pluie, le brouillard, qui empêche les objets humides de sécher, qui favorise le développement des moisissures, détermine les rhumatismes...

Plus l'air est près d'être saturé, plus il est facile d'en extraire de l'eau liquide. — Les objets un peu plus froids que l'air, ou même les objets doués de la propriété hygroscopique (comme les cheveux utilisés dans l'hygromètre) prennent d'autant plus d'eau que l'air est plus près d'être saturé.

Il est facile de représenter la marge que l'on a avant d'atteindre la saturation dans un cas donné (ce qu'on pourrait appeler le pouvoir desséchant stati-

que), c'est de diviser le poids d'eau (f) actuellement contenu dans un mètre cube d'air (ou, ce qui revient au même, la pression actuelle de la vapeur) par le poids d'eau maximum (F) que pourrait contenir cet air à la température actuelle. Si l'on trouve par exemple $\frac{f}{F} = \frac{5}{10}$ on en peut conclure que le réservoir aérien d'eau est encore à moitié vide. Il ne fait pas humide.

Le rapport $\frac{f}{F}$ est désigné sous le nom *d'humidité relative*.

Les hygromètres à cheveux, tels que ceux employés par le Bureau central météorologique, portent une division en cent parties égales. Le point 100 est celui de la saturation. A la division 30 l'humidité relative est très faible, le pouvoir desséchant considérable. La moyenne annuelle de l'humidité relative à Paris est 79.

Au point de vue de la conductibilité thermique, plus l'air est près d'être saturé, plus il est conducteur à la température donnée.

Mais voici une complication : si l'on chauffe de l'air saturé, en l'absence de tout excès de liquide (1), la vapeur devient *surchauffée* (2). En cet état de

1. Vapeur saturée et sèche.

2. Elle est trop chaude pour sa pression. Il pourrait y avoir de la vapeur surchauffée à 20 degrés en abaissant la pression.

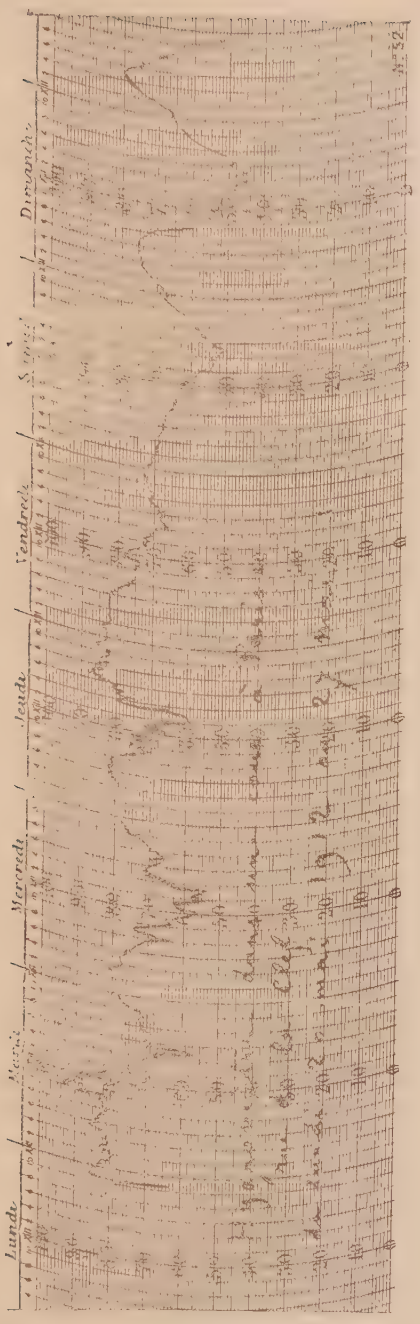


Fig. 47
Hygromètre dans une cour à Paris

gaz presque parfait, elle est à peu près aussi mauvaise conductrice de la chaleur que l'air sec (1).

SECTION II

Quelques observations météorologiques

Nous avons employé l'hygromètre à cheveux du type dit du Bureau central météorologique.

L'hygromètre mesure l'humidité relative, non pas la quantité d'eau totale qui existe dans l'air, mais celle qui a tendance à se déposer sous forme liquide, ainsi que nous l'avons dit dans la section précédente.

§ 1. — *Allure générale des graphiques*

En général, les graphiques de l'hygromètre sont beaucoup plus accidentés que ceux du thermomètre. Les variations sont beaucoup plus nombreuses en une heure, plus brusques, plus hautes, les angles sont plus aigus (fig. 47, p. 319).

A voir le graphique hebdomadaire si chargé, nous avions pensé qu'avec une grande vitesse de déroulement (8 cm. à l'heure) nous aurions beaucoup plus

1. *Recherches sur les propriétés de la vapeur d'eau surchauffée*, par Armand Duchesne (thèse de doctorat). Paris, Dunod, 1911, p. 12. — *Id.*, *les Phénomènes thermiques dans les machines à vapeur* (*Revue de mécanique*, juillet 1906. Paris, Dunod). — Cours de M. Kœnigs à la Sorbonne.

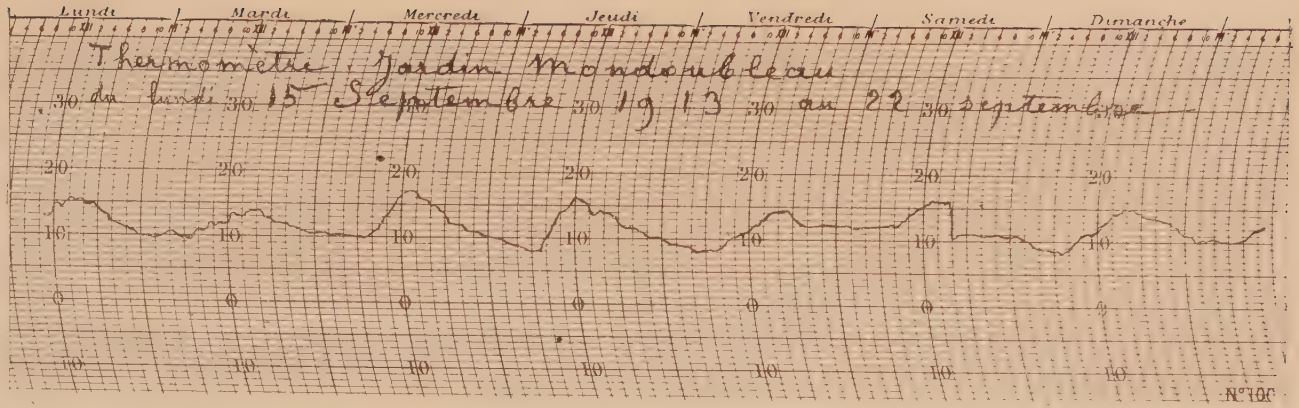


Fig. 48

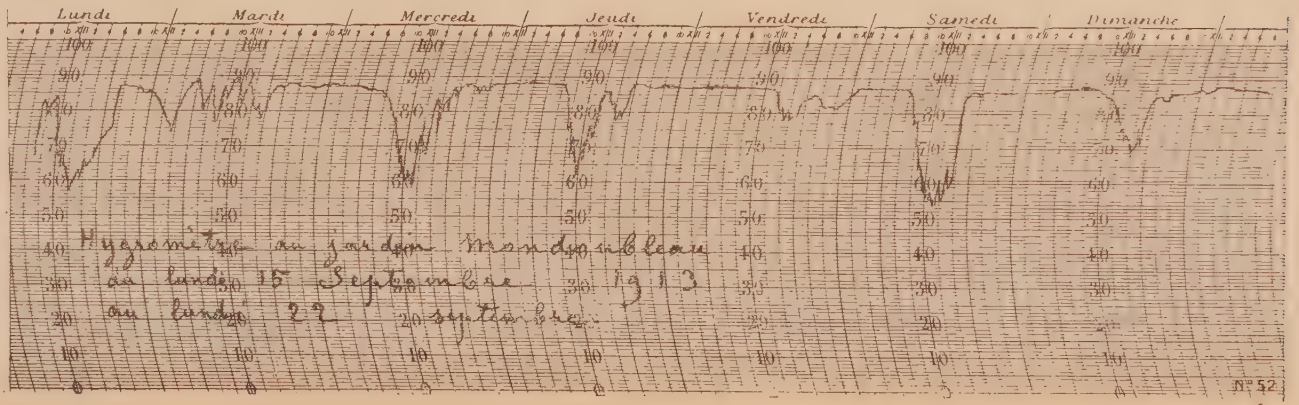


Fig. 49

Humidité précoce le soir

de détails. Évidemment, on est beaucoup plus sûr ainsi de l'instant précis où se produit un phénomène, et des vitesses propres à chacune des phases de sa transformation. Mais cela n'est réellement intéressant que dans les cas exceptionnels, par exemple au moment où un orage éclate (1 et 2).

C'est, en général, la nuit que les courbes sont le plus élevées. Pendant une certaine période, vers le 15 septembre 1913, l'hygromètre placé au jardin, à Mondoubleau, atteignait son maximum vers 88 centièmes dès 6 heures du soir et le conservait jusqu'au lendemain matin 8 heures, même jusqu'à midi (fig. 49), le dimanche 21 septembre.

Le jeudi soir il avait plu vers 5 heures ; le vendredi, à 6 h. 1/2 du matin, le brouillard était intense; l'impression n'était pas froide dehors, malgré l'humidité et la température de 8 degrés. Cette impression relativement douce était due sans doute à l'absence de vent. Le temps est resté gris, sans pluie jusque vers 3 heures de l'après-midi ; puis le soleil a paru (impression chaude), bien que le thermomètre n'ait pas atteint 15 degrés à l'ombre.

Pendant la nuit, il a plu et le samedi matin il fait gris ; le sol est trempé ; il ne fait pas froid dehors ; les anémomètres sont immobiles. — Vers 3 h. 1/2 après-midi, orage.

---

1. Voir le graphique de l'orage du 29 août 1913, fig. 35, p. 252.
2. Si le papier ne se déroulait pas constamment, on saisirait rarement à temps les phénomènes intéressants.

Dimanche matin, brouillard, pas de pluie, temps doux avec 10 degrés.

En opposition avec les graphiques précédents, nous avons relevé des nuits très sèches : par exemple, la nuit du 1er juillet 1913 qui a eu son maximum d'humidité de 68 centièmes, vers 4 heures du matin, — et la nuit du mercredi 2 juillet 1913 qui a donné 63, à 4 heures du matin.

§ 2. — *Relation entre l'humidité, le soleil et le vent*

Dans la figure 33, page 250, on voit les relations entre l'humidité et le vent. A 1 h. 55, quand on protège l'appareil contre le vent froid, l'humidité diminue.

Dans les graphiques du 18 août 1913 au 25 août (fig. 36 et 37, p. 253), on voit les rapports entre l'action du soleil et l'humidité. Du lundi 18 août 1913 au vendredi 22 août, les instruments sont restés dans une chambre mansardée, orientée à l'ouest. Aux heures où cette pièce était visitée par le soleil, l'humidité diminuait brusquement. En une heure, elle tombait de 18 centièmes. — Après le 22 août, les appareils placés dans une chambre au premier étage, au nord, n'ont plus eu de variations.

Le mercredi 5 novembre 1913, à 6 h. 1/2 du matin, dans une courette à Paris, nous avons observé une variation brusque de 7 centièmes en moins d'une

heure. Rien ne justifiait ce phénomène du côté de la température, qui avait plutôt baissé de 1/2 degré dans le même temps. Il est probable qu'il était survenu un vent sec.

A l'inspection des graphiques, on constate que les variations d'humidité au dehors, à l'ombre, sont beaucoup plus brusques que les variations de température. La courbe de l'hygromètre est beaucoup plus accidentée que celle du thermomètre.

Cela tient à ce que les variations du rapport $\frac{f}{F}$ ne dépendent pas seulement des variations de température (1), mais aussi du vent qui, selon les régions d'où il vient, a pu absorber une quantité d'eau plus ou moins considérable. Le vent de terre est en général sec, et le vent de mer humide.

Le vent qui est forcé de monter (rencontrant une chaîne de montagnes) est le siège d'une dilatation et se refroidit. Il précipite alors une partie de l'eau qu'il contenait.

---

1. Si l'état hygrométrique ne dépendait que de la température, la courbe de l'hygromètre s'abaisserait d'autant plus que monterait la courbe thermométrique, ce qui n'est pas.—En particulier, le soir, la courbe hygrométrique monte très vite, atteint son maximum, souvent dès 6 ou 8 heures du soir, et s'y tient jusqu'au lendemain matin; la courbe du thermomètre descend bien plus lentement et n'a son minimum qu'à 6 heures du matin.

§ 3. — *Pluie et Humidité*

Il ne faut pas confondre l'humidité avec la pluie. On pourrait dire, en exagérant un peu, que la pluie ne mouille pas l'air, pas plus que les rayons du soleil n'échaûffent l'atmosphère en la traversant (1).

Il faut que ce soit la terre mouillée qui humidifie l'air, — de même que c'est la terre chauffée qui échauffe à son tour les couches basses de l'atmosphère.

— Un terrain sablonneux, qui évacue rapidement vers la profondeur l'eau tombée, humidifie peu l'air.

Un sol argileux conserve l'eau à la surface et imprègne l'air d'humidité (2).

Le vendredi 19 septembre 1913, par un brouillard intense sans pluie (v. graphique du 15 sept. 1913 au 22 sept. 1913, fig. 49, p. 321), l'hygromètre reste à 88 jusqu'à 2 heures de l'après-midi ; il a une courbe plus élevée qu'au début d'une averse.

Ce n'est pas au moment où il pleut, que l'instrument donne le maximum. Mais qu'un rayon de soleil survienne, la vapeur se forme. Aussitôt la courbe monte.

Même en l'absence de pluie et de brouillard, il

1. La cause de la pluie, ce n'est pas l'humidité de la couche d'air ou nous vivons ; c'est l'humidité des couches supérieures de l'atmosphère.

2. Aux environs de Mondoubleau, le sous-sol est argileux. Quand il a beaucoup plu, à la fin de septembre, la température ne se réchauffe plus. L'humidité persiste malgré la cessation de la pluie.

peut exister de l'humidité qui influence l'hygromètre et nos terminaisons nerveuses. Le mardi 3 juin 1913, à 7 heures du matin, nous avons relevé plus de 90 centièmes d'humidité à Chernex-sur-Montreux (Suisse). Le temps était superbe.

A Mondoubleau (Loir-et-Cher), nous avons noté plusieurs fois dans un grenier ouvert à tous les vents (au nord), un important relèvement de la courbe hygrométrique. Le phénomène se produisait vers 8 heures du matin, lorsque le soleil commençait à frapper le toit, — comme si la rosée qui mouillait les tuiles, était volatilisée par les rayons du soleil et venait ensuite se déposer sur le faisceau de cheveux de l'instrument.

Le lundi 13 octobre 1913, par un tepms lumineux, la courbe de l'hygromètre monte à 100 centièmes (au grenier nord), vers 9 h. 1/2 du matin. L'impression était très fraîche et les vitres couvertes de buée intérieure et extérieure (fig. 50, p. 327 ; graphique du 13 au 27 oct. 1913).

Le mardi 14 octobre, par un temps un peu gris, vent faible, impression fraîche, l'*hygromètre* du grenier donne 90 centièmes à 7 heures du matin, 100 à 9 heures du matin par un assez beau temps, 90 à 11 heures du matin. — Pendant ce temps, l'hygromètre placé au jardin marquait 88 à 7 heures du matin, 80 à 9 heures, 70 à 10 heures, 70 encore à 11 heures du matin.

Le mardi, au grenier, le *thermomètre* était à 7 degrés à 6 heures du matin, à 6 degrés à 8 heures,

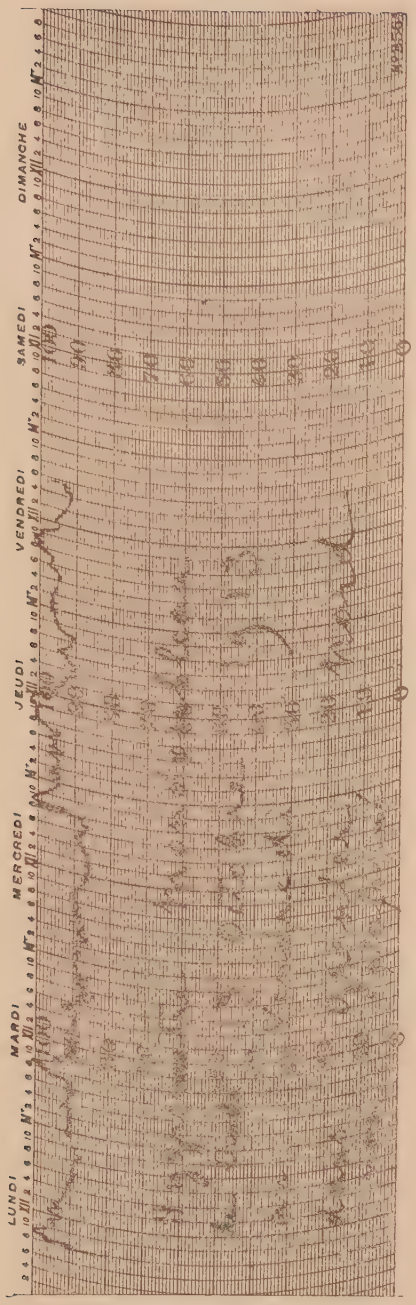


Fig. 50

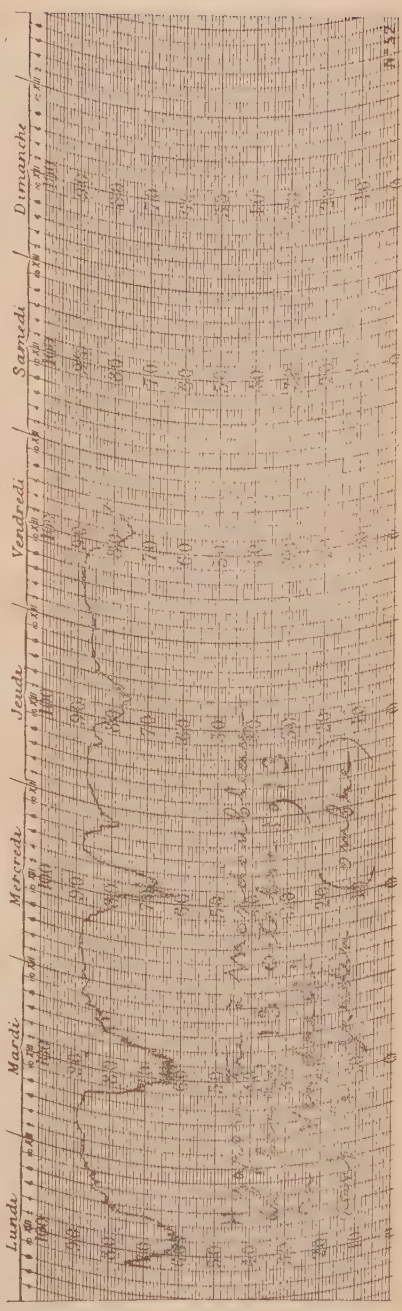


Fig. 51

Au grenier. — Humidité croissante sous l'influence du soleil

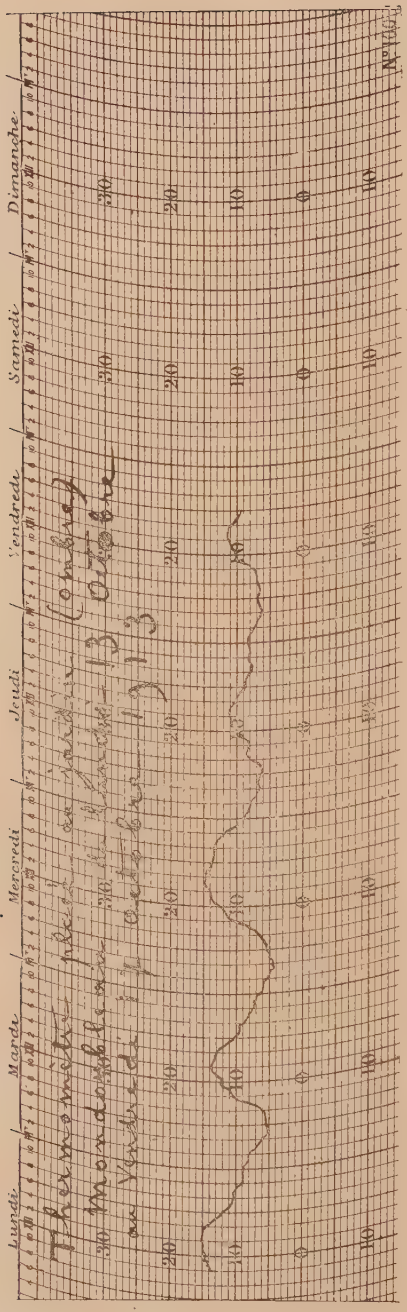


Fig. 52

Thermomètre au jardin

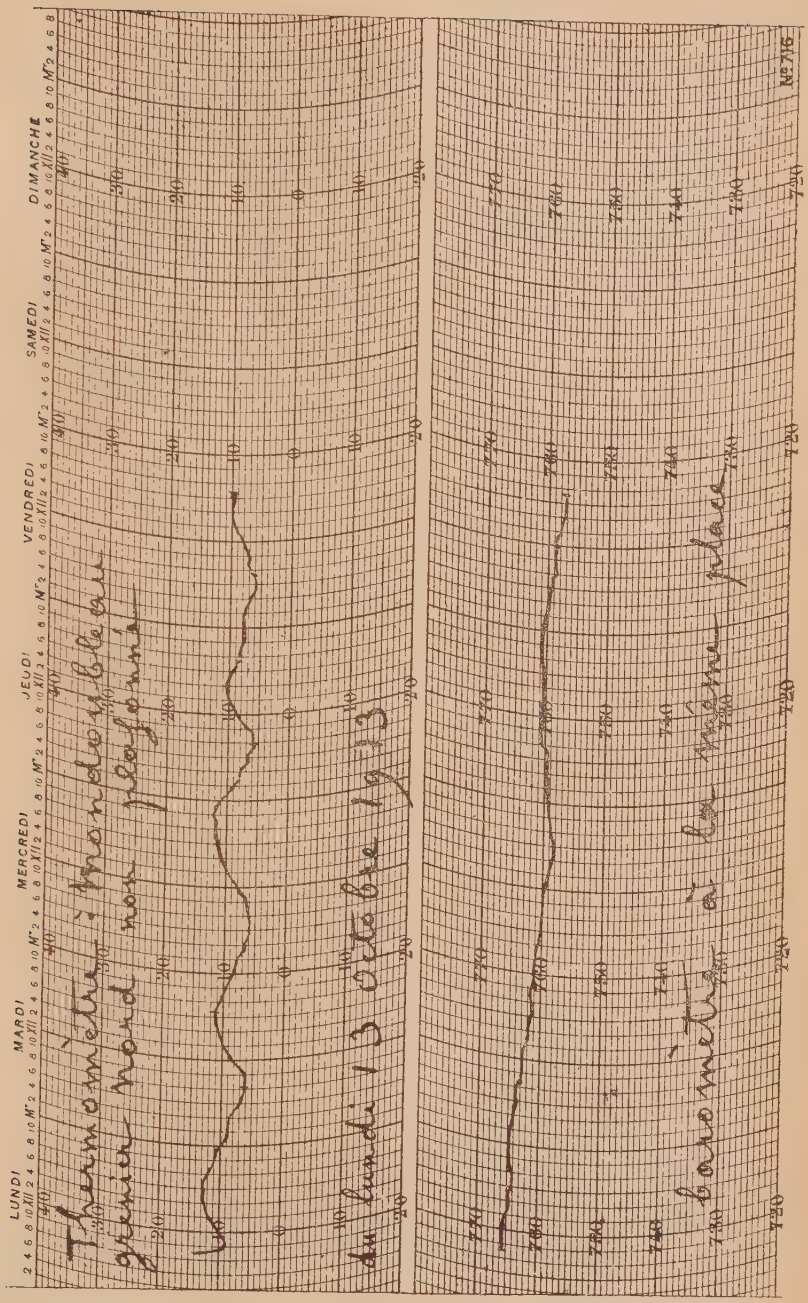


Fig. 53

Fig. 54

Thermomètre et baromètre au grenier

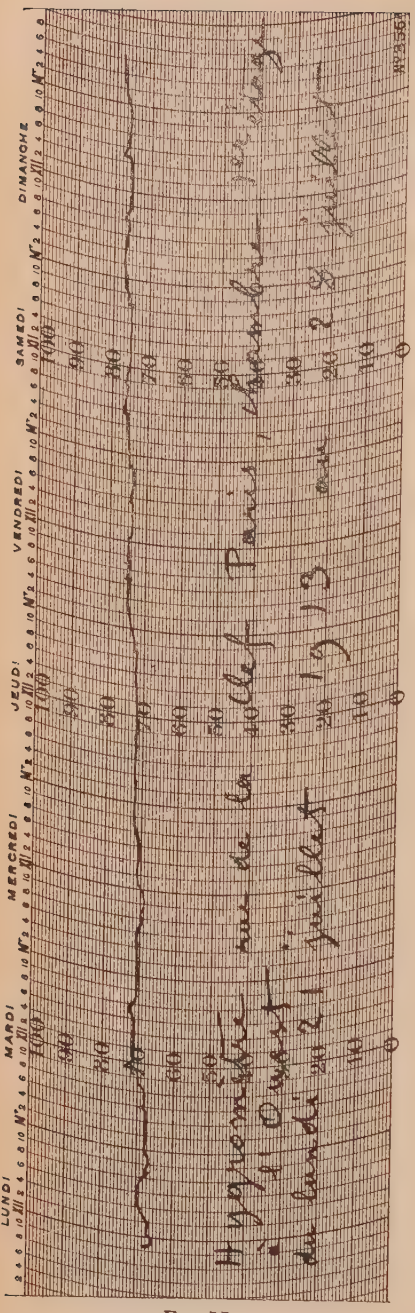


Fig. 55

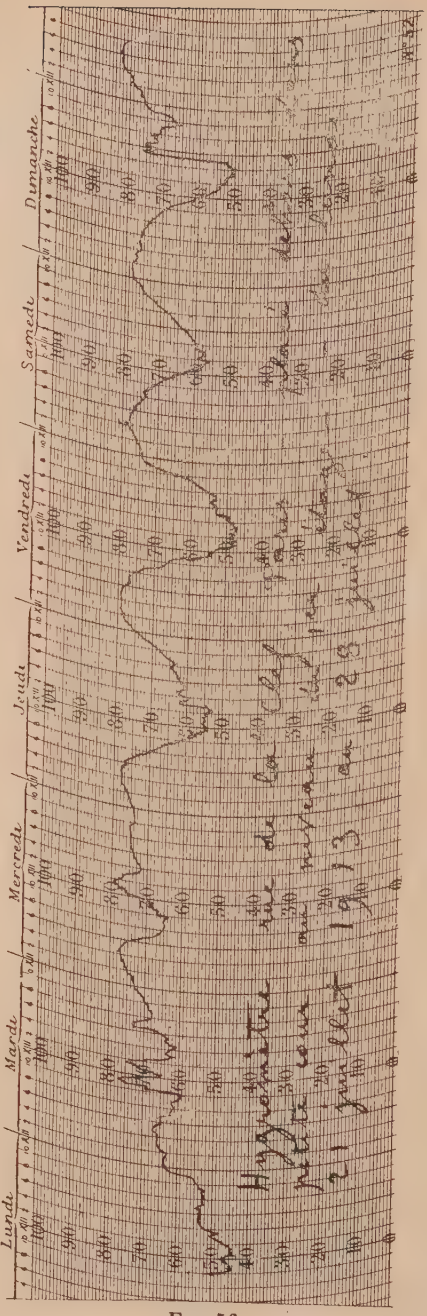


Fig. 56

Comparaison hygromètre à l'intérieur. — Hygromètre au dehors

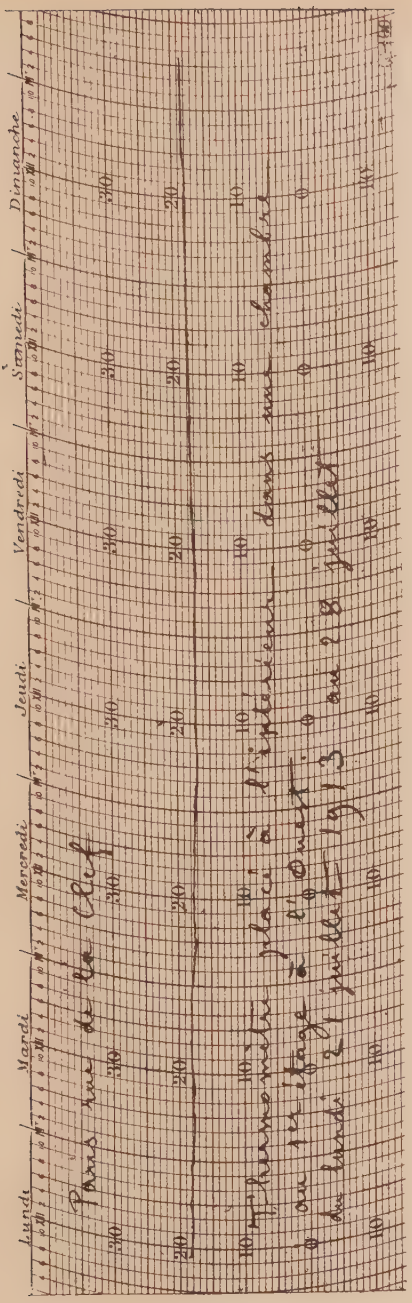


Fig. 57
Thermomètre à l'intérieur

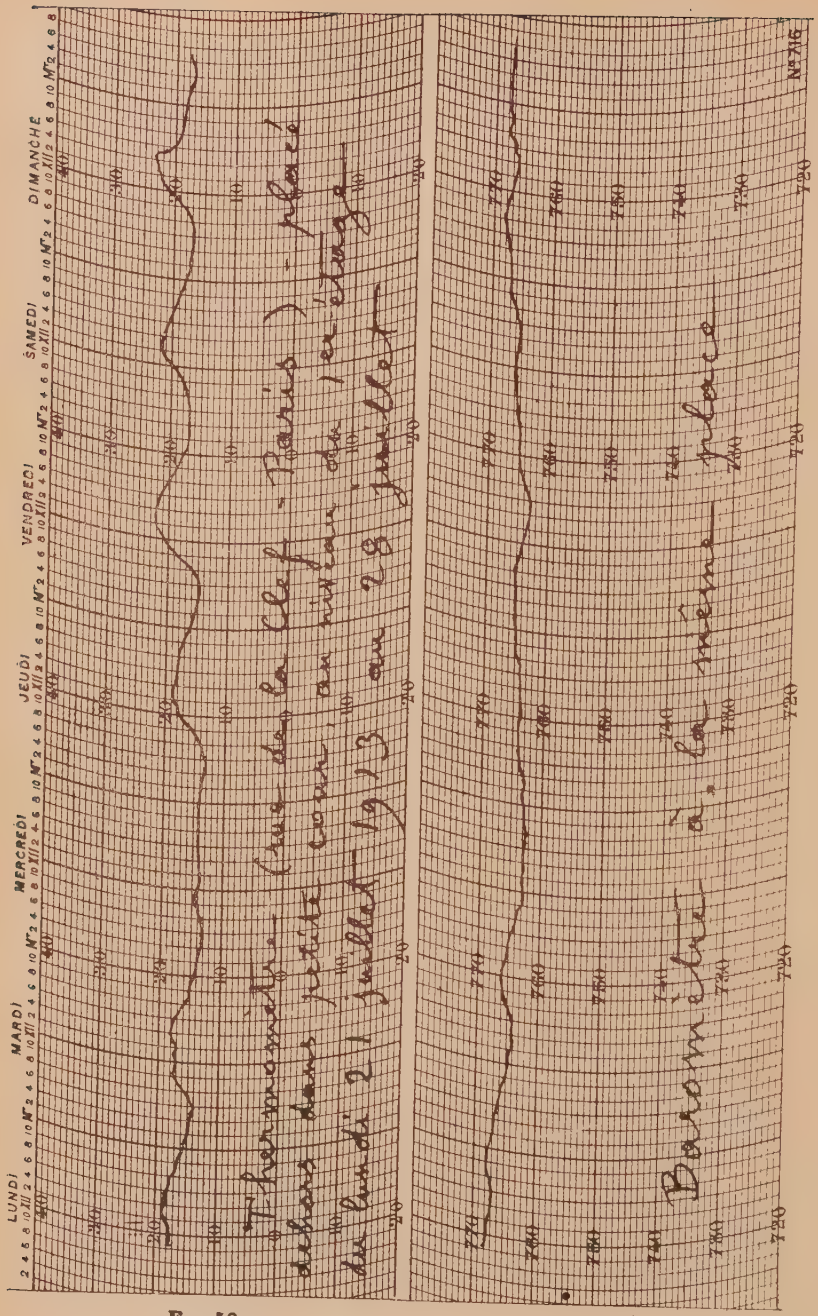


Fig. 58 Fig. 59

Thermomètre (et Baromètre) au dehors

à 6 degrés et demi à 10 heures et à 7 degrés à 11 heures (fig. 53, p. 329).

Dans le jardin, l'enregistreur indique 5°1/2 à 6 heures, 5°2/3 à 8 heures, 10°1/2 à 10 heures du matin, 11 degrés à 11 heures (fig. 52, p. 328).

§ 4. — *Comparaison entre l'humidité à l'intérieur des habitations et l'humidité à l'extérieur au même moment*

1° Voir page 246, figure 31, le graphique représentant un déplacement du grenier à la cave (variation de température et d'humidité).

2° Graphiques de la semaine du 21 juillet 1913 au 28 juillet à Paris, rue de la Clef (p. 331).

La courbe du thermomètre intérieur est une droite (fig. 57), celle du thermomètre extérieur (fig. 58) est beaucoup plus ondulée. — La différence est encore plus marquée entre les deux hygromètres (fig. 55 et 56, p. 330).

Le lundi, 21 juillet, le temps était beau ; l'après-midi, il semblait un peu lourd lorsqu'on marchait.

Le mardi 22, il y a eu des averses entremêlées de rayons de soleil. L'impression n'était pas froide.

Le mercredi, encore des averses, mais l'impression est nettement froide, c'est un temps d'hiver. Un ruban de 40 centimètres de long pendu à l'extérieur a des oscillations de 2 centimètres de « demi-amplitude » avec des repos ; sensation vibrante.

Jeudi, 24 juillet 1913, belle journée sans pluie.

Impression tiède. Le rythme du vent est assez vif le soir, mais l'amplitude moins grande que la veille.

Vendredi 25, beau temps, pas de pluie, température douce. Le soir, 10 heures, rythme du vent assez vif, coups de demi-amplitude = 7 centimètres.

Samedi 26, belle journée, sans pluie; sensation assez chaude, 10 heures soir, rythme du vent lent ; demi-amplitude, 2 centimètres.

Dimanche, 27 juillet 1913. Journée chaude et orageuse. — Beau temps jusqu'à 5 heures du soir. A ce moment orage, pluie à verse. A 9 heures du soir, fenêtre ouverte, impression tiède, le rythme du vent est lent, la demi-amplitude = 3 millimètres.

Lundi 28 juillet, à 6 h. 1/2 du matin, le sol de la rue est sec ; l'impression n'est pas froide. Le ruban placé à l'extérieur est presque immobile.

Lenteur de pénétration de l'humidité extérieure à l'intérieur des habitations

Cette lenteur est un fait bien réel et n'est pas due à la lenteur d'adaptation des instruments. En effet, l'hygromètre à cheveux a très peu d'inertie. Le temps de descendre un escalier de cave, c'est-à-dire en moins d'une minute, la courbe s'élève souvent de 20 centièmes.

Volant d'humidité des maisons. — Mardi 3 septembre 1912, 6 h. 1/2 du matin (Mondoubleau), au grenier largement ouvert au vent, un hygromètre à

cadran marque 95 et, transporté immédiatement dehors (cour nord), il donne 100. Il y a retard à l'*humidification* du grenier.

A midi, c'est l'inverse : grenier 82 et cour nord 70. Il y a un retard au *dessèchement*. — A 7 heures soir : grenier 81 et cour 79. Le dessèchement n'est pas achevé.

Mercredi 4 septembre 1912 (Mondoubleau) 6 h. 1/2 du matin : grenier 98, cour nord 100.

A 7 h. 1/4, dans une chambre mansardée (à l'est) après vingt minutes de pluie, l'humidité n'a pas encore pénétré.

Autre observation. — Samedi 20 septembre 1913. Assez beau temps le matin, — vers 3 heures de l'après-midi éclate un orage (pluie).

L'hygromètre placé dans le jardin monte (entre 2 heures et 4 heures de l'après-midi), de 55 à 85 centièmes. — Le thermomètre du jardin, en une demi-heure, tombe de 16 degrés à 10° 1/2 (entre 3 h. 1/2 et 4 heures après-midi).

Quelles sont, pendant ce temps, les variations dans une chambre au premier étage, volets ouverts sur un cour au nord, mais double fenêtre fermée ? — L'hygromètre, non influencé au début, est monté très lentement ensuite, entre 4 heures et 9 heures du soir ; puis la courbe est restée horizontale jusqu'à 5 heures du matin, où elle a eu une ascension brusque de un centième et demi.

Le thermomètre enregistreur placé dans cette chambre n'a pas varié de un demi-degré entre midi

et 8 heures du soir.— A 8 heures du soir, il est même monté de un demi-degré (sans doute à cause de notre entrée dans cette pièce). — Le baromètre n'a pas cessé de monter toute la journée.

On voit donc combien les habitations nous protègent contre les variations brusques. Elles jouent par rapport à notre système nerveux le même rôle que les volants jouent à l'égard des machines à vapeur.

Signalons un fait assez paradoxal que nous avons relevé à Paris (rue de la Clef) en octobre 1913. — Dans la semaine du 20 au 27 octobre (fig. 60, p. 337), dans la salle à manger d'un appartement habité, nous avons constaté de grandes élévations de la courbe hygrométrique tous les soirs entre 6 heures et 8 heures suivies d'une chute (dessèchement) qui durait toute la nuit. La pièce n'était pas chauffée (fig. 60). — Au contraire, sauf pour la nuit du mardi 21 octobre au mercredi, l'hygromètre placé à l'extérieur a indiqué une humidité ascendante pendant la nuit (fig. 61). — Dans la salle à manger le thermomètre n'indique aucune élévation de température la nuit (fig. 63).

Il a fait sec et chaud le lundi 20 octobre 1913 — le mardi il y a eu plusieurs averses — le mercredi belle journée sans pluie — le jeudi, le vendredi, le samedi et le dimanche il a fait sec.

La semaine suivante les mêmes anomalies de courbe se sont reproduites en s'atténuant.

Les fortes variations d'humidité de cette pièce peuvent s'expliquer dans une certaine mesure par

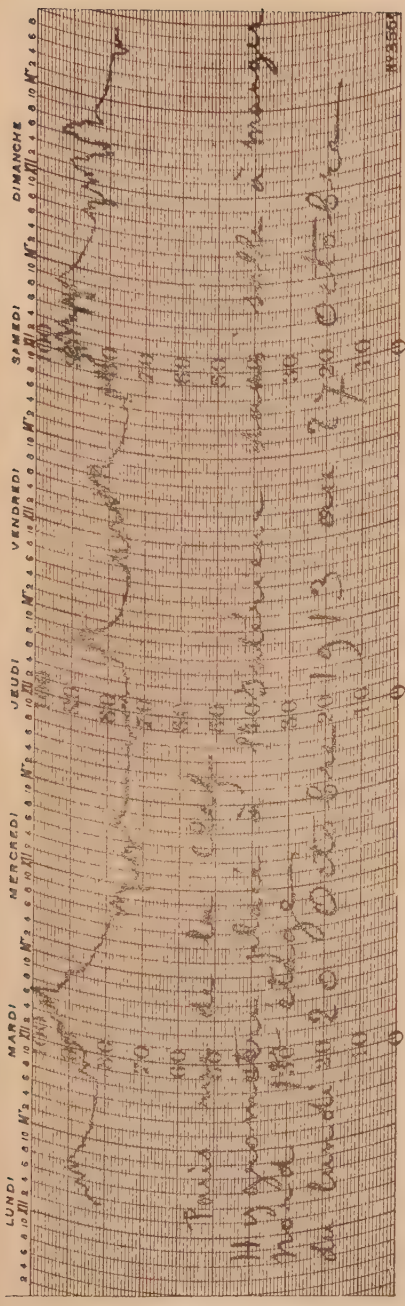


Fig. 60

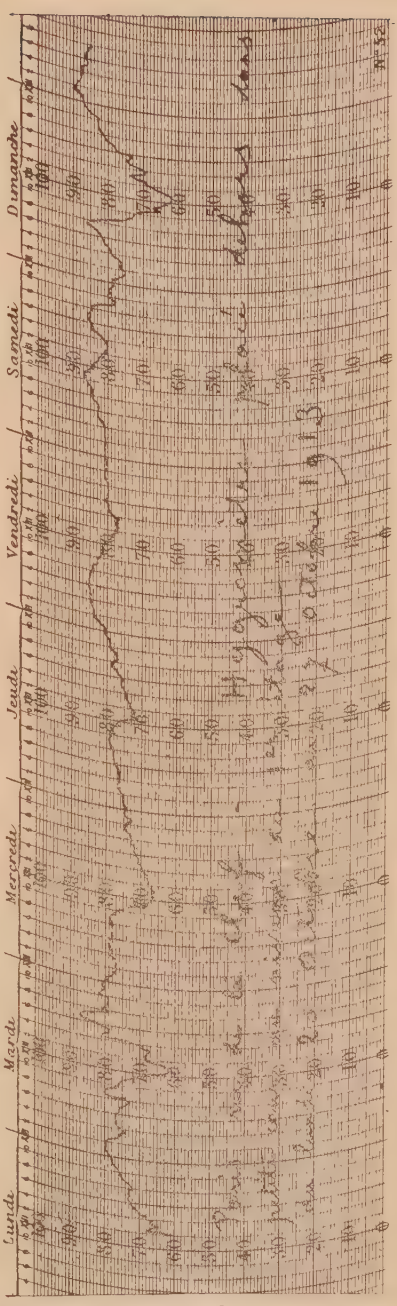


Fig. 61

Salle à manger. — Dessèchement la nuit

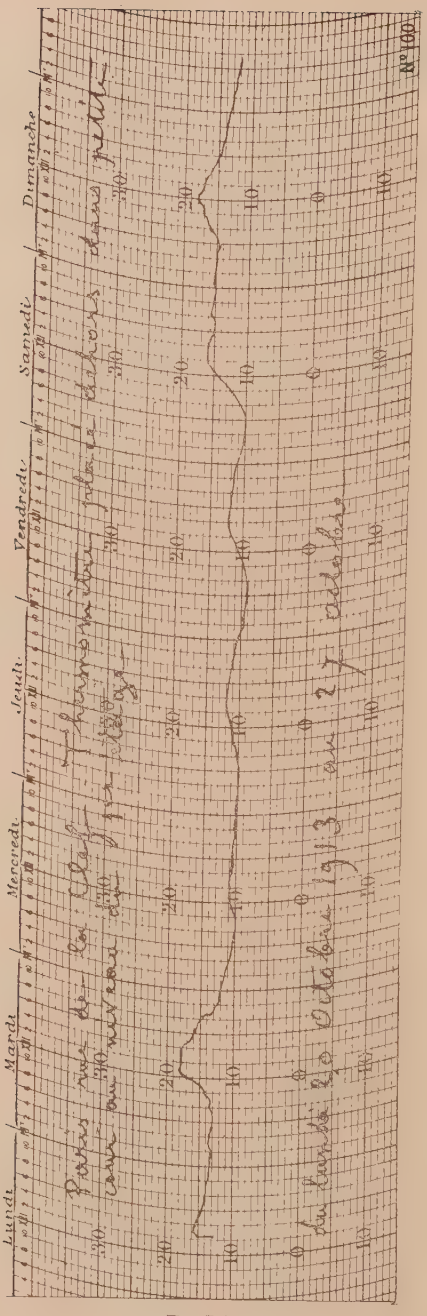


Fig. 62
Thermomètre dehors

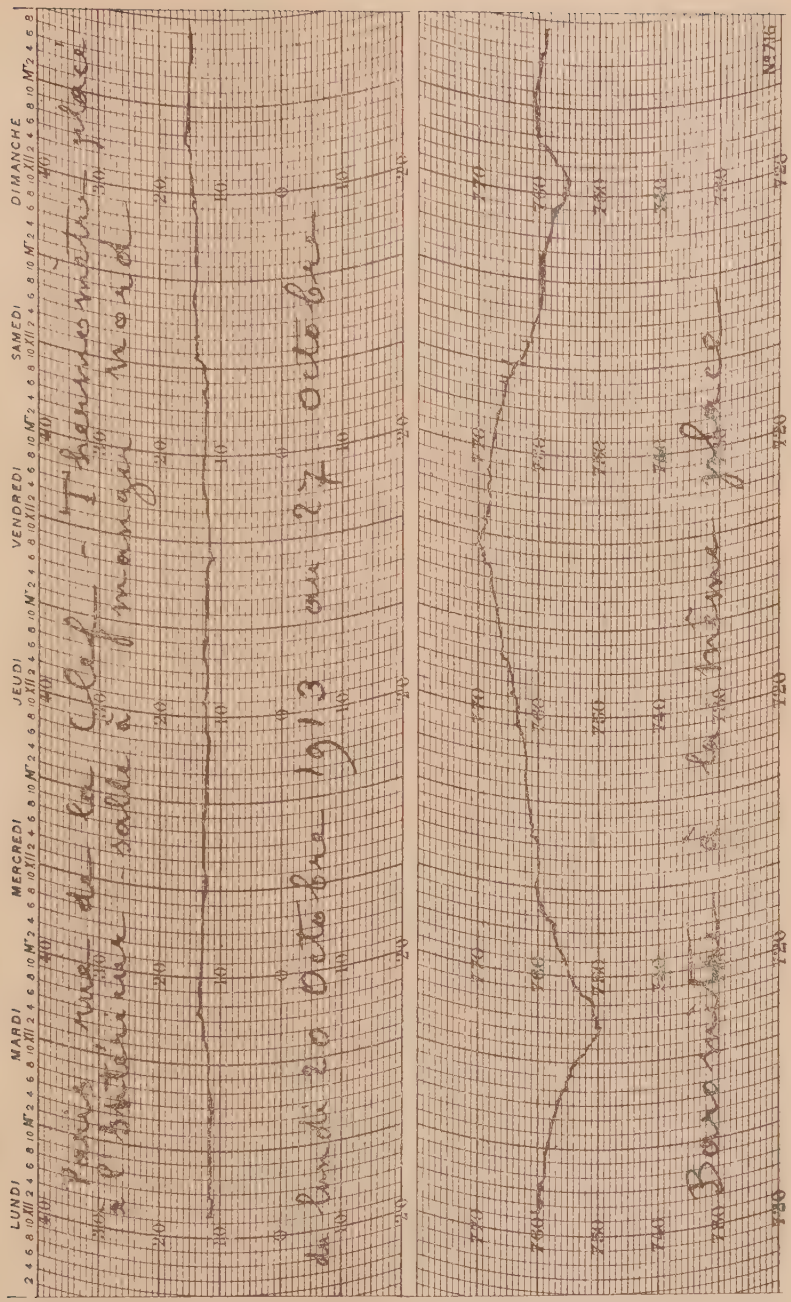


Fig. 63 Fig. 64

Thermomètre et Baromètre. — Salle à manger Paris

ce fait qu'elle sert de passage et que les portes sont très souvent ouvertes.

SECTION III

Définition médicale de l'humidité

Quand on parle d'humidité, on songe souvent aux effets nuisibles (1) que cette modalité de notre milieu peut avoir sur l'organisme. Ce n'est plus du tout le point de vue auquel se place le physicien.

Médicalement parlant, et d'une façon plus générale, utilitairement parlant, il est assez difficile de dire ce que c'est que l'humidité.

Une douche n'est pas humide. Un bain n'est pas humide.

Le bois maintenu complètement sous l'eau ne pourrit pas. C'est même ainsi que, dans les arsenaux, on conserve les pièces de bois destinées à la construction des navires. — Un pieu enfoncé en terre pourrit seulement à la surface de jonction entre la terre humide et l'air.

---

1. On peut porter remède à l'excès d'humidité de deux façons : soit en élevant la température, ce qui annihile les effets nuisibles de l'eau — soit en extrayant une partie de l'eau de l'atmosphère au moyen d'un corps desséchant ou bien par le froid.

L'excès de froid est un remède à l'excès d'humidité. Nous nous souvenons d'avoir vu M. d'Arsonval dessécher un verre de cognac en y versant quelques gouttes d'air liquide. L'eau se séparait immédiatement sous forme de glace. — La nature n'emploie pas d'autre procédé pour dessécher l'air des stations d'altitude suisses (Leysin, etc.) qui sont réputées, l'hiver, pour la pureté de leur atmosphère.

Ce n'est donc pas en tant que *eau* seulement que l'humidité agit. L'efficacité, le pouvoir modificateur réside, sans doute, dans un certain mélange d'eau et d'air — ou dans une certaine alternative des deux éléments dans le temps (1).

L'idée qu'éveille en nous le mot d'humidité est très complexe. Pour nous c'est la pluie, le brouillard, l'absence de soleil, le froid noir.— L'humidité, c'est la notion confuse d'une foule d'inconvénients, la rouille pour nos instruments, le jaunissement de nos papiers, la moisissure de notre linge et de nos provisions alimentaires (2).

Encore y a t-il une grande différence en bien des cas entre l'humidité à *l'air libre* et l'humidité dite *renfermée* (dans l'air stagnant). — Les instruments météorologiques ne font pas la distinction ; plaçons un hygromètre à cheveux au dehors par un vent violent saturé d'humidité, ou dans une armoire close à l'air également saturé ; il marquera 100 centièmes dans les deux endroits. Et pourtant nos pots de confiture moisiront dans l'armoire et ne moisiraient pas dans le courant d'air. Il faut certaines conditions de

1. Un morceau de sucre fondra plus vite si on le plonge dans l'eau et si on le laisse égoutter avant de le replonger, — que si on le laisse constamment sous l'eau.

2. Nous nous sommes souvent demandé comment une boîte de zinc, dont le couvercle joint mal, protège cependant les objets contenus contre la moisissure. L'air peut passer. Mais les corpuscules d'eau sont peut-être attirés électriquement sur les parois du canal. Ce serait un fait analogue à ce qui se passe dans certaines filtrations à travers des parois à pores assez larges.

tranquillité aux moisissures pour s'installer, comme aux vers pour dévorer nos vêtements de laine.

Humidité et germes microbiens

« Il est bien connu que *l'humidité froide* favorise les divers rhumatismes et la goutte (Bouillaud, Charcot, Potain) et les lésions broncho-pulmonaires : on a voulu voir dans le premier de ces faits un argument en faveur de la théorie mycélienne de certains rhumatismes (Tessier et Roques), les moisissures se développant bien dans les milieux froids et humides. Quant au rôle des *brouillards* dans l'étiologie des affections thoraciques, il peut s'expliquer par l'adhérence et l'absorption plus facile des germes sous leur influence, phénomène bien connu en viticulture...

» L'humidité chaude... favorise la pullulation microbienne. Ainsi s'explique la fréquence des dermatoses dans les climats chauds et humides (1). »

Humidité et possibilité d'exercice physique en plein air. — Pourquoi va-t-on dans le Midi ? — Ce n'est pas qu'on jouisse dans les stations méditerranéennes d'un perpétuel printemps. — Mais il y pleut très rarement entre la fin de novembre et le mois de mai. Le brouillard y est presque inconnu.

« Grâce à la possibilité de sortir presque chaque

---

1. *Traité d'hygiène de Chantemesse, Brouardel et Mosny*, 1er fascicule, p. 86.

jour et de faire de l'exercice dans une atmosphère sèche, chaude et lumineuse, les hivernants voient leurs fonctions physiologiques reprendre une nouvelle activité ; — l'appétit renaît, les échanges nutritifs se font plus régulièrement, les pores de la peau sont entretenus dans un degré de perméabilité constante (1). »

Ayant conduit durant plusieurs hivers dans le Midi une personne âgée, aux bronches susceptibles, nous avons pu constater que cette personne qui sortait à Paris une dizaine de fois dans les trois mois d'hiver, — n'a été, au contraire, privée qu'une dizaine de fois de sa promenade quotidienne dans la même durée de temps à Nice (Mont-Boron).

D'après une statistique du Dr de Valcourt à Cannes, on trouve les moyennes suivantes :

	A Cannes	A Paris
Jours sans nuage.....	92	12
— variables	64	89
— couverts.....	25	80

Jours de pluie : 38 à Cannes ; 97 à Paris (2).

1. Congrès de climatothéraphie de Cannes, 1907. Rapport du Dr Chuquet de Cannes.

2. A Cannes, « les brouillards sont à peu près inconnus. Mais il existe au coucher du soleil une heure critique. Il se fait une condensation subite de la vapeur d'eau contenue dans l'air qui parfois est assez forte pour mouiller les trottoirs et humidifier les vêtements. — Les malades doivent toujours être rentrés une demi-heure avant ce moment pour éviter les dangers d'un refroidissement. » Rapport du Dr Chuquet (Congrès de climatothérapie de Cannes, 1907).

Cette humidité est localisée du reste dans les parties basses

Humidité et courant de chaleur. Sensation thermique. — L'humidité est glaciale ou étouffante selon que le fond de l'air est plus ou moins chaud que notre organisme. Par un temps humide on grelotte à 10 degrés, on est anéanti par la chaleur à 40 degrés (1).

D'autres circonstances encore, font qu'un temps humide peut nous paraître chaud, alors même que le niveau thermométrique est assez bas. Voici deux hommes placés côte à côte au milieu d'un brouillard à 15 degrés : l'un est au repos et grelotte ; l'autre travaille physiquement d'une façon énergique ; ce dernier déclare que *le temps est lourd ;* l'humidité extérieure empêche la sueur produite de s'évaporer et met obstacle à ce moyen d'évacuation de l'excès des calories produites par le travail musculaire.

du pays. Il nous est arrivé souvent au coucher du soleil, de voir la ville de Nice disparaître derrière un voile de vapeur, alors que sur les rochers du Mont-Boron, encore chauds de l'insolation de la journée, nous avions un ciel absolument limpide.

1. *Sur la Pathogénie du coup de chaleur*, voir *Traité d'Hygiène de Chantemesse, Brouardel et Mosny*, premier fascicule, p. 83. — Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 290. — *Dictionnaire de physiologie* de Richet, mot « Chaleur ».

SECTION IV

Sens de l'humidité

Au dernier Congrès international de psychologie de Genève (1909), on a fait une communication sur le sens de l'humidité, très développé chez les escargots et M. Piéron a discuté les conclusions de l'auteur.

Chez les hommes, aussi, il y a un sens de l'humidité, très aiguisé chez certains frileux. Nous avons vu des personnes redouter les effets du serein crépusculaire au point de refuser d'aller s'asseoir au jardin l'été après le coucher du soleil avec le reste de la société.

Cette notion d'impression d'humidité n'est pas encore bien élucidée dans ses diverses modalités.

Elle est très variable selon les autres impressions auxquelles elle est associée. Voici par exemple la matinée du vendredi 19 septembre 1913 (fig. 49, p. 321). Il n'y a pas de pluie, mais beaucoup de brume. Le thermomètre monte lentement de 8 degrés, à 8 heures du matin, comme minimum ; — à 14°1/2 vers 4 heures du soir.

Malgré cette température peu élevée et une humidité qui reste à 88 centièmes jusqu'à près de 2 heures de l'après-midi — cependant nous avons une impression tiède.

Au moins lorsque le sujet est debout et ne reste

pas immobile, l'humidité, en l'absence de vent, n'est pas très désagréable.

Il faut tenir compte aussi des facteurs psychologiques. Un météorologiste, qui aime ses instruments, ne sent pas, en leur présence, les impressions fâcheuses qu'éprouverait un indifférent. Les douleurs rhumatismales elles-mêmes frappent surtout ceux qui ont le loisir de les sentir.

Ainsi que nous l'avons vu par l'inspection des graphiques, les variations d'humidité sont en général très rapides.

Cette brusquerie est-elle pour quelque chose dans l'action que cette humidité exerce sur nous ?

C'est probable, mais en l'état actuel de nos connaissances, il nous est impossible de préciser le rôle de ce facteur.

QUATRIÈME PARTIE

REMARQUES SUR NOS SENSATIONS

RELATIVES A L'ÉNERGIE CALORIQUE

CHAPITRE PREMIER. — Importance de la connaissance des sensations thermiques du malade, p. 347.
CHAPITRE II. — Rôle de protection de la sensation, p. 351.
CHAPITRE III. — Sensation de température. — Sensation de débit de calories, p. 355.
CHAPITRE IV. — Sensation des variations thermiques, p. 361.
CHAPITRE V. — Illusions du sens de la température, p. 370.

CHAPITRE PREMIER

IMPORTANCE DE LA CONNAISSANCE DES SENSATIONS THERMIQUES DU MALADE

Le thermomètre fournit au médecin des renseignements précieux, mais bien insuffisants. Il est du plus haut intérêt pour lui de s'enquérir des sensations thermiques éprouvées par le malade.

L'impression du sujet tient compte d'une foule

d'énergies autres que l'énergie calorique, par exemple de l'énergie rayonnée, de l'énergie électrique, de l'énergie de pression, etc., qui toutes concourent à l'effet du traitement. — Elle décèle, en outre, l'état propre du sujet, et sa réaction à l'action extérieure.

« Les individus se différencient les uns des autres en ce qu'ils possèdent une perception, une sensibilité, une faculté de représentation propres vis-à-vis des influences extérieures, en ce qu'ils supportent différemment les influences physiques, chimiques (matières nutritives) et psychiques, et qu'ils réagissent chacun à sa manière.

» Il résulte de ce principe qu'il ne saurait y avoir une règle absolue de traitement, puisque toutes les impressions extérieures sont différemment perçues par les individus. Cela montre que la tâche du médecin est d'étudier tout autant la personnalité du malade que son trouble circulatoire (1)... »

Dans son rapport au troisième Congrès de climatothérapie à Nice en 1907, le Dr Monteuuis insiste pour faire remarquer que ce sont les impressions, du sujet, sa susceptibilité de l'heure présente, et non pas le thermomètre, qui doivent en dernière analyse classer les bains, en bain d'air — bain de lumière, — et en bain de soleil.

Dans la pratique, nombre de sujets nerveux trou-

1. Arnold Rikli, médecin naturel à Veldes (Carniole), *Médecine naturelle et bains de soleil*, traduction française. Lausanne, Bridel et Cie, 1905.

vent que le bain d'air est frais au delà de 18 degrés, — que le bain de lumière ne devient calmant qu'à partir de 22 degrés — et que, par contre, il est excitant (c'est-à-dire bain de soleil) avant 30 degrés. Le dernier mot est toujours au malade (Dr Monteuuis) (1).

Certains sujets sentent cent fois plus que d'autres.

Le Dr Monteuuis définit la réaction : l'impression de bien-être et de chaleur que tout malade doit franchement éprouver à la suite de son bain. Elle est la condition en même temps que la preuve des bons effets du bain.

Lorsque nous parlons de susceptibilité personnelle, il faut entendre non seulement le tempérament de chacun, mais encore les conditions actuelles, les dispositions sans cesse changeantes du sujet. Nous sommes beaucoup plus sensibles au froid lorsque nous sommes en période d'incubation d'un coryza, — ou bien pendant la digestion, — les jours où le soleil ne brille pas, — lorsque nous sommes sous le coup d'impressions tristes et décourageantes.

1. « Monteuuis tient un compte primordial de la sensation du sujet. Il y aurait un danger véritable à tabler trop largement sur une investigation de cet ordre... l'enfant ne traduit pas, généralement de façon exacte ses réactions subjectives. D'autre part les sensibilités très diverses des sujets (variant d'une pusillanimité extrême à une indifférence presque complète aux agents extérieurs) pourrait nous entraîner à des actions insuffisantes ou excessives de la cure solaire. »

Dr M. d'Elsnitz, médecin des hôpitaux de Nice, *Posologie de l'héliothérapie marine*, rapport au Congrès de Thalassothérapie de Cannes, avril 1914, p. 6, — voir aussi, p. 23.

En pareilles circonstances le médecin doit modérer les actions rafraîchissantes, diminuer par exemple la durée des bains d'air, les faire prendre à la chambre et non plus à ciel découvert, etc.

CHAPITRE II

ROLE DE PROTECTION DE LA SENSATION

La sensation, la conscience en général, doit être considérée comme un moyen de protection donné à notre organisme.

Voici par exemple un fait dont nous avons été plusieurs fois témoin dans le service du professeur Raymond à la Salpêtrière (1).

A l'ergographe de Mosso un sujet normal se fatigue assez vite et refuse de continuer l'expérience. — Une hystérique au contraire donne une courbe magnifique. Seulement son bras reste ensuite paralysé pendant vingt-quatre heures. — Il vaut donc mieux pour notre organisme être capable de sentir la fatigue. L'état d'anesthésie est un danger.

Descendons un degré plus bas encore dans l'échelle de la conscience. L'hystérique, si elle tombe, s'arrange toujours pour ne se faire aucun mal. L'épileptique, au contraire, tombe brutalement, sans choisir le lieu, se blesse parfois grièvement. Il y a là une diffé-

1. Travaux sous la direction de M. le Dr Pierre Janet.

rence considérable et qui est due au degré de conscience persistant chez l'hystérique.

Il en est de même pour les sensations thermiques. La conscience du froid et du chaud est un moyen de protection.

Si nous nous placions au point de vue de la finalité, nous dirions que cette sensation n'a nullement été instituée dans un but d'analyse scientifique. — Aussi la distinction entre le froid et le chaud disparaît quand l'impression devient trop forte. Le danger est trop pressant pour qu'il y ait lieu de chercher un remède dans le réchauffement ou le refroidissement sur place. Il faut fuir au plus vite. Aussi n'avons-nous plus alors comme avertissement que la *douleur*. Peu importe qu'il s'agisse d'excès de chaud ou d'excès de froid.

Au reste, la sensation est souvent une protection médiocre. Un mal de dent bénin peut être extrêmement douloureux ; un cancer mortel est indolore au début.

Il suffit pour déterminer les plus graves perturbations de notre organisme (pneumonie... insolation...) de variations de la température extérieure bien faibles et qui n'ont éveillé en nous qu'une fugace impression. — Oui, nous avons bien senti un peu de fraîcheur en causant dans la rue avec un ami : — il faisait évidemment un peu chaud tandis que nous soignions nos fleurs au jardin un jour d'été. Nous n'avons pas quitté ce que nous faisions parce qu'il nous aurait fallu un choc, un signe bien apparent

pour nous arracher à notre préoccupation, pour vaincre notre inertie psychologique. Une sensation aussi faible ne serait un avertissement suffisant que si nous avions toujours notre liberté d'esprit, si notre attention était toujours en éveil surveillant les dangers possibles.

Nous avons éprouvé la sensation dans une demi-inconscience. Puis nous n'y songeons plus, jusqu'à ce que la maladie éclate. — Cette négligence est un tort grave. C'est pendant la période d'incubation qu'il faut agir par un traitement préventif. Attend-on pour mettre de la teinture d'iode sur une écorchure, qu'un phlegmon soit déclaré? Pourquoi hésiter à traiter la fièvre préventivement? Nous avons entendu le Dr Charrin (1) répéter que, chez les animaux en expérience, on pouvait déceler au calorimètre l'envahissement de la maladie souvent de longues heures avant que l'accès de fièvre éclatât. Aussi avons-nous pris l'habitude, chez certaines personnes susceptibles, de donner préventivement la quinine, à petites doses (2), aussitôt le refroidissement physique constaté (aussitôt après l'exposition à un courant d'air, ou après l'exposition à la pluie). Ceci dans le but de créer un milieu défavorable à l'incubation. Cette pratique est assez empirique, mais nous avons réussi ainsi à supprimer complètement les bronchites qui

1. Cours au Collège de France.

2. — 25 centigrammes de bromhydrate de quinine le matin, et pareille quantité le soir.

étaient auparavant fréquentes chez les malades étudiés.

On peut avoir des sensations qui suffisent sur le moment à orienter notre conduite, mais dont on ne se souvient plus bientôt après.

Pour que l'on conserve le souvenir d'une sensation, il faut qu'elle ait été spécialement intéressante et qu'on ait fait de suite l'effort nécessaire pour l'apprendre par cœur, pour la *mémorer* (1).

On perd assez vite le souvenir des différentes impressions de température éprouvées durant la journée, à moins qu'il n'y ait eu un fait marquant, qu'on puisse citer, par exemple un grand orage. — Si on a remis au soir à noter ses impressions thermiques, on les a oubliées. Il est assez rare qu'on se souvienne des circonstances qui ont provoqué un rhume.

1. Cours de M. Pierre Janet, Collège de France, 1913-1914.

CHAPITRE III

SENSATIONS DE TEMPÉRATURE
SENSATION DE DÉBIT DE CALORIES

Première section. — Température et débit des calories, p. 355.
Section II. — Température extérieure. — Température de la peau. — Température des terminaisons nerveuses (Sensation), p. 358.
Section III. — Chaleur locale. — Chaleur générale, p. 359.

PREMIÈRE SECTION

Température et débit de calories

Il en est de la sensation de chaleur comme des diabètes ou des rhumatismes. On range sous une même dénomination des choses très différentes, qu'une analyse superficielle avait d'abord confondues.

Sans même parler de certaines sensations prétendues de chaleur et qui ne sont que des sensations de pression ou d'ébranlement mécanique ou le résultat de l'action d'autres énergies, — si nous nous occupons uniquement des impressions dues à l'énergie calorique — il faut encore distinguer.

Que sentons-nous ? Est-ce la température, le niveau thermique, comme le suppose le langage

vulgaire (1). Ou bien au contraire, nos sensations dépendent-elles de la quantité d'énergie calorique en jeu, du débit de calories ?

Sommes-nous sensibles au niveau statique d'une énergie stagnante, ou bien faut-il que la chaleur circule pour que nous la sentions (2).

Une comparaison précisera nos idées : 1° un électroscope à feuilles d'or, un électromètre de Thomson, sont sensibles au niveau de l'énergie électrique statique, au potentiel. — Il n'est pas nécessaire que la pile, qui les charge, ait un débit continuel. — De même un niveau d'eau mesurera la hauteur d'eau, qu'il s'agisse d'un réservoir où l'eau est stagnante ou bien d'un fleuve.

2° Au contraire, un galvanomètre ne peut mesurer que l'électricité en mouvement. — Vous auriez beau mettre des milliers d'éléments de pile en tension, si le courant ne passe pas, le voltmètre ne marque rien. — Un compteur à eau, quelle que soit la pression, n'indique rien tant que le robinet n'est pas ouvert.

1. La température n'est qu'un accident dans l'histoire de la chaleur. Elle dépend bien du niveau de la source. Mais elle dépend aussi de la quantité de calories par l'intermédiaire de la capacité du récepteur, capacité qui peut être indéfiniment accrue par des fuites.

2. La thermo-dynamique, avec Sadi-Carnot, enseigne que la chaleur ne peut pas se transformer en énergie mécanique si elle ne circule pas, s'il n'existe pas un courant. Peut-elle se transformer en énergie des terminaisons nerveuses si elle est stagnante ?

Si nous ne sentions que le niveau statique, la température, nous ne dirions pas communément qu'un bloc de cuivre à 10 degrés est froid, tandis qu'un bloc de bois à 10 degrés est chaud, que l'eau est plus froide que l'air à la même température, que l'air calme à 18 degrés est beaucoup plus chaud qu'un courant d'air à 18 degrés (1).

Rien n'empêcherait, *a priori*, que notre organisme possédât en lui les deux sortes d'instruments, les uns sensibles au potentiel (thermomètre), — les autres sensibles au débit (compteur de calories).

En admettant même que nous fussions insensibles à la chaleur stagnante, nous pourrions posséder les

1. Au fond les épithètes : *chaud* et *froid* prêtent à bien des équivoques : un paletot chaud, un bain chaud, un feu chaud ; le mot chaud a-t-il le même sens dans toutes ces expressions ?

Toutes les fois qu'un objet a une température inférieure à celle de notre corps, l'épithète chaud signifie seulement : « qui empêche de se refroidir ». Il diminue notre courant de sortie de chaleur, ou plutôt il le compense en partie par un courant d'entrée ; car un corps froid envoie de la chaleur à un corps chaud. La seule chose qu'il ne puisse pas faire, c'est augmenter finalement la quantité de chaleur totale qui existait dans le corps chaud.

Mais un corps à 50 degrés par exemple est vraiment un corps chaud, puisqu'il est capable d'augmenter le nombre total de calories existant en nous, et qu'il éléverait la température, même d'un corps qui n'aurait pas de foyer intérieur.

Un réservoir A placé à 10 mètres de haut est capable d'élever le niveau d'eau dans un autre réservoir B placé à 5 mètres de haut, même si aucun autre robinet d'entrée n'alimente le réservoir B.

Un réservoir Secundum placé à 5 mètres de haut mis en communication avec un réservoir Primum placé à 10 mètres ne peut pas augmenter le nombre de litres d'eau contenu dans Primum, mais constitue un obstacle empêchant Primum de se vider aussi vite qu'il le ferait sans cela. Il est chaud pour lui en un sens.

deux sortes d'appareils analogues à ceux qui servent à l'analyse des courants électriques ; l'ampèremètre et le voltmètre.

D'une part, nous pourrions sentir le nombre total de calories qui passent par minute, — et en même temps savoir si cette perte est due à la grande vitesse du courant (grande charge, grande chute de température) ou bien à la grande surface de déperdition.

Pour savoir si un corps extérieur a réellement une très basse température, il suffirait de diminuer la section du conducteur de chaleur, de même qu'on prend des fils de faible section pour les voltmètres. Il faudrait toucher le corps par une très petite surface. Si le débit était encore important dans ces conditions, on en déduirait que le corps est réellement beaucoup plus froid que nous.

SECTION II

Température extérieure. — Température de la peau Température des terminaisons nerveuses (Sensation)

Quelle est la température que l'on sent ? — Évidemment ce ne peut être qu'une température qui soit en nous. Nous ne sentons pas la température extérieure, mais seulement la température, c'est-à-dire l'amplitude des vibrations de nos terminaisons nerveuses périphériques.

Mais rien ne prouve que la température de nos terminaisons nerveuses soit la même que la tempé-

rature de la peau. Pour que cela puisse ne pas être, il suffirait que ces terminaisons périphériques fussent isolées thermiquement du reste de la peau. Si d'une plaque de cuivre chauffée vous faites partir des épanouissements de fils d'argent très fins baignés dans l'atmosphère, l'extrémité de ces fils ne sera pas à la même température que la plaque.

La température de nos terminaisons nerveuses périphériques sera ce que nous appellerons la température extérieure. S'il existe autour de nous une gaine, si mince soit-elle, de chaleur ou de froid, nos terminaisons auront la température de cette gaine.

D'autre part, il existe des terminaisons nerveuses profondes. Lorsque nous avalons un aliment trop chaud, nous sentons plus ou moins confusément une brûlure à l'estomac.

SECTION III

Sensation de la section du courant de chaleur. Chaleur locale. — Chaleur générale.

Comment distinguons-nous une chaleur générale d'une chaleur locale ?

Si nous sommes immobiles, nous appellerons *chaleur locale*, celle qui n'agit que sur un petit nombre des terminaisons nerveuses réparties à la surface de notre corps — et *chaleur générale* celle qui agit sur toute la périphérie de notre corps.

Si nous pouvons nous déplacer, la chaleur générale

sera celle dont nous ne pourrons pas faire varier la sensation malgré nos déplacements.

C'est ainsi que nous distinguons la chaleur d'un objet chaud (assiette chaude, fer chaud) de la chaleur d'une chambre chaude, ou d'un pays chaud.

Il peut arriver, à cause de la régulation, qu'une sensation thermique d'abord locale, se complique de la sensation d'un trouble général de l'organisme.

CHAPITRE IV

SENSATION DES VARIATIONS THERMIQUES

Section I. — Sensation de variation simultanée dans l'espace, p. 361.
Section II. — Sensation de variation successive dans le temps, p. 363.
Section III. — Du zéro physiologique, p. 365.

On peut considérer deux sortes de variations :

1° Les variations dans l'espace ou variations simultanées, par exemple les chutes de potentiel avec la distance ;

2° Les variations dans le temps.

PREMIÈRE SECTION

Sensation de variation simultanée, dans l'espace

Théoriquement on peut admettre que nous avons la sensation de la chute de température par unité de longueur en profondeur.

Nous avons des terminaisons nerveuses profondes, et des terminaisons périphériques qui nous donnent simultanément des impressions différentes. Et nous avons une sorte de connaissance de la distance qui sépare une terminaison périphérique d'une termi-

naison profonde. — Nous pouvons déduire de là une notion confuse de la chute de température par millimètre.

Or, ce qui est actif et troublant, ce sont les grandes chutes de potentiel par unité de longueur. Citons l'exemple des suppressions de vitesses, qui ne sont dangereuses que lorsqu'elles se font sur un faible espace.

Cette sensation de chute de potentiel par millimètre (jointe à la sensation de la grandeur de la surface de sortie) pourrait à la rigueur tenir lieu d'une sensation du débit. Plus est grande la chute de température par millimètre, plus est grand le débit d'énergie, toutes choses égales d'ailleurs.

Nous en déduisons cette règle pratique : qu'il faut éloigner le plus possible de notre peau les sources de chaleur ou de froid présentant avec notre corps une différence de température excessive.— La nature applique automatiquement cette mesure de sécurité, en créant les gaines de chaleur ou de froid. Une grande partie de la chute totale de potentiel se fait dans le monde extérieur. En sorte que la chute par millimètre entre les couches profondes de notre corps et la peau est assez faible (1). Notre sensation est donc beaucoup moins vive.

---

1. L'examen du graphique de balnéation (p. 321, *Chaleur animale*) de Lefèvre, est très instructif à cet égard. Pour un bain à 5 degrés, la chute entre la masse de l'eau et la peau est déjà de 12 degrés. Cette chute se fait dans la gaine d'eau tiédie, en sorte que la chute par millimètre dans l'épaisseur de la peau n'est plus que de 3°1/2.

SECTION II

Sensation de variation successive dans le temps

Un vase plein d'eau bouillante est abandonné dans un endroit frais. Sa température varie.

Un courant d'eau était chaud tout à l'heure au point A, maintenant il est froid au même point.

On remarque dans ces exemples deux valeurs du phénomène en un même point, et qui n'existent que parce que le temps a changé.

Or il est une loi très générale (loi de Lenz) d'après laquelle tout changement dans le temps éveille une résistance qui s'oppose audit changement — principe de contradiction, de réaction universel.

Si vous voulez mettre un corps en mouvement, en vertu de son inertie, il fera tout pour rester immobile. Si vous voulez arrêter un corps en mouvement, il s'efforcera de continuer sa marche ; — et si quelque partie de lui-même peut se détacher du corps principal, cette partie continuera son mouvement.

Nous avons déjà donné l'exemple de l'automobile, qui s'arrête brusquement tandis que les voyageurs, continuant le mouvement, sont projetés en avant sur la route.

Un autre exemple est celui du courant d'induction électrique. Un courant passait dans le circuit pri-

maire d'une bobine de Rhumkorff. Vous le supprimez. Il fait tout ce qui est en lui pour continuer sa marche et lance une de ses émanations qui, sous la forme d'un courant induit, continue dans le circuit secondaire un mouvement dans le même sens que le courant interrompu.

Pourquoi n'admettrions-nous pas un phénomène analogue dans le cas de variation du courant de chaleur?— Ce courant induit de chaleur ne serait manifesté que par la sensation de changement de température.

Dans cette hypothèse, il s'agirait d'une sensation simple provoquée par un fait nouveau. Il ne serait plus nécessaire de faire appel à la mémoire pour rendre en quelque sorte présentes à la fois une sensation ancienne et une sensation nouvelle.

On trouverait encore un autre avantage à cette supposition.—C'est de représenter la grande augmentation de force de la sensation en cas de variation brusque de la température.

Pour la bobine de Rhumkorff, le voltage dans le secondaire croît avec une extrême rapidité à mesure que la chute d'énergie par unité de temps augmente dans le circuit primaire (1 et 2).

Il en serait de même de cet hypothétique courant induit de chaleur.

Il serait énorme lorsque la chute d'énergie du cou-

1. Voir Armagnat, *la Bobine d'induction*. Paris, Gauthier Villars, 1905.

2. L'énergie produite n'a pas le temps de diffuser. Elle s'accumule dans un petit espace et fait monter le niveau. Cas du briquet à air.

rant primaire de chaleur par unité de temps atteindrait une grande valeur (1).

SECTION III

Du zéro physiologique

Nous croyons que c'est ici l'une des questions les plus propres à mettre en relief l'importance d'une étude cinétique de la chaleur. Il s'agit selon nous d'un effet de choc.

Or, on a envisagé le problème surtout au point de vue statique.

« Le zéro physiologique est la température où l'impression de chaleur finit et où commence la sensation de froid... C'est la température indifférente, celle pour laquelle l'homéotherme n'a ni chaud ni froid (2 et 3). »

---

1. Si l'inertie de la matière n'existait pas, il serait absolument indifférent que notre automobile lancée à la vitesse de 60 kilomètres à l'heure s'arrêtât en 1/10 de seconde ou bien en cinq minutes.

Si l'inertie n'existait pas, il serait indifférent que la température passât en un quart d'heure ou bien en trois mois, de 0 degré à 35 degrés. — Notre sensation ne serait pas plus vive dans un cas que dans l'autre.

2. Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 325.

3. « On peut... avoir chaud ou froid quand la température interne monte ou descend au delà de la normale, ou simplement quand on se trouve dans un milieu ambiant qui donne ou enlève plus de chaleur à notre surface externe que celle que nous recevons, ou que nous rayonnons d'habitude. Un exemple suffira pour démontrer l'importance de cette accommodation. Les puits

A première vue, on pourrait être tenté de dire : le zéro physiologique est la température extérieure qui établit l'équilibre entre le dehors et le dedans, — pour laquelle il n'y aurait ni courant d'entrée, ni courant de sortie.

Ce serait une bonne définition, s'il s'agissait d'un corps inanimé *incapable de créer en lui de la chaleur*, — mais elle ne sera plus valable, même pour un corps non vivant, s'il possède en lui une source de chaleur à niveau illimité.

Mettez une lampe électrique à incandescence dans une enceinte où l'air sera maintenu exactement à la température de l'ampoule. Il y aura adiabatisme, absence de fuite de chaleur. La température de la lampe montera jusqu'à ce que le verre fonde.

Un animal placé dans de semblables conditions ne serait plus un homéotherme. — La régulation exige

---

et les caves ont une température qui varie très peu; cependant en entrant dans ces endroits, nous éprouvons dans l'été une sensation de froid, et dans l'hiver une sensation de chaud. Ceci s'explique par le fait que la peau se trouve accommodée pour un milieu qui est plus chaud (été) ou plus froid (hiver) que celui de ces endroits. — Le capitaine Ross raconte que, lui et ses compagnons de route, se trouvaient fort bien à une température de (— 26 degrés), après avoir passé quelque temps dans des régions qui avaient (— 47 degrés). — La variabilité du point zéro est tout aussi grande si l'on se rapporte à la température interne des animaux à équilibre thermique constant. Il est évident qu'un oiseau aura froid quand sa température descendra à (+ 39 degrés), alors que l'homme ou un animal dont le milieu interne se trouve à (+ 37 degrés) ressentiront les effets de la chaleur à cette même température. » *Dictionnaire de physiologie* de Richet, mot « Chaleur » p. 217).

que la température de la peau soit un peu supérieure à celle de l'air ambiant, afin qu'il puisse exister un courant d'évacuation de la chaleur en excès.

Étant donné, ainsi, que le zéro physiologique suppose l'existence d'un courant, discutons maintenant les qualités que doit présenter ce courant pour donner lieu à l'état psychologique d'indifférence thermique.

Faut-il que ce courant soit rapide ou lent, — qu'il débite beaucoup de calories ou très peu? — Faut-il qu'il y ait 10 degrés de différence de niveau entre la peau et l'extérieur ou bien 2 degrés seulement? — Est-il nécessaire que cette chute se fasse sur 1 millimètre de chemin ou sur 10 centimètres?

Non, aucune de ces conditions n'est imposée. La seule qui soit nécessaire pour qu'il y ait *zéro physiologique :* — est qu'il existe un *courant* de chaleur de *régime,* c'est-à-dire que ce courant ne varie pas.

A cette seule condition, le *courant induit* de chaleur (dont nous parlions à la section précédente) n'existera pas et nous ne sentirons rien.

Sinon, si le courant primaire varie par augmentation, nous aurons un courant induit inverse (loi de contradiction universelle) qui est la vraie cause de la sensation de froid.

Si le courant primaire diminue, nous aurons un courant induit direct, que nous interpréterons par la sensation de chaleur.

Seront causes de sensation de froid, toutes les conditions capables de faire varier en plus le cou-

rant primaire d'évacuation de chaleur, par exemple l'augmentation du potentiel intérieur (sensation de froid au début de la fièvre) ; — ou bien l'abaissement de la température du milieu extérieur. — Dans les deux cas la différence de niveau entre les deux sources, *la charge* augmente; donc, le débit augmente, si la résistance n'a pas varié.

Supposons maintenant que la différence entre les deux niveaux (intérieur et extérieur) reste constante. Mais diminuons la *résistance*, retirons notre pardessus en pleine rue l'hiver, ou bien soyons surpris par une averse qui humidifie l'air froid et le rend plus conducteur, sans changer sa température, — le débit de chaleur va augmenter. Donc nous aurons la sensation de froid (1).

---

1. Noublions pas, cependant, qu'il existe en nous d'autres appareils capables de produire des sensations thermiques dans d'autres conditions.

S'il s'établissait un courant de régime avec 35 degrés comme température intérieure du corps et 20 degrés à l'extérieur, aurions-nous froid? — Et si le courant constant avait comme termes 41 degrés, d'une part et 20, d'autre part, aurions-nous chaud? — Certainement, car il existe en nous des terminaisons nerveuses spéciales, sensibles au *niveau statique* de température.

En résumé, pour qu'il y ait zéro physiologique, il faut: 1° une température intérieure normale ; 2° un courant de régime.

En ce qui touche la température de la surface cutanée, on peut admettre que le zéro physiologique est compris entre 25 et 35 degrés, puisque, selon Lefèvre, l'hyperhémie de la peau n'existe pas entre ces limites.

Maurel (Société de Biologie, 1905, p. 412-591-765) a étudié la question du zéro physiologique cutané.

Dans l'air (espace sous-vestial, sous le vêtement), il y a sensation neutre lorsque la température de la gaine d'air est de 31°5. — Dans un bain, lorsque la couche d'eau la plus proche du corps

est à 32 degrés environ. – Dans l'air libre, la gaine est à 31 degrés environ pour le zéro physiologique.

Mais ces températures varient selon les différentes régions du corps ; en sorte que pour le zéro physiologique ce n'est pas tant une température déterminée du milieu qu'il faut exiger, mais une certaine chute de *température*, ni trop grande, ni trop petite, entre la peau et le milieu qui la baigne.

Nous reproduisons le tableau suivant :

	Tronc	Cuisse	Pied
Température périphérique..	34.75	33.75	32.45
Zéro thermique.....	31.50	30.50	29.50
Différence.....	3.25	3.25	2.95

Consulter Lefèvre, *Chaleur animale*, p. 326.

CHAPITRE V

ILLUSIONS DU SENS DE LA TEMPÉRATURE

§ 1. — Des causes autres que la chaleur, qui peuvent nous donner des impressions thermiques, p. 370.
§ 2. — Impressions thermiques d'origine purement psychologique, p. 373.
§ 3. — Dysesthésies thermiques, p. 375.

§ 1. — *Des causes autres que la chaleur, qui peuvent nous donner des impressions thermiques*

Au fond, pour que nous sentions de la chaleur, il n'est pas nécessaire qu'il existe réellement de la chaleur sensible au thermomètre.

Il suffit que nos centres nerveux soient impressionnés comme s'il y en avait (1).

---

1. En revenant de Nice à Paris, il y a quelques jours, nous ressentions vers 5 heures du matin l'impression de froid habituelle à la fin d'une nuit passée en chemin de fer. — On est glacé, on prend un pardessus, on déroule ses couvertures.

Nous avions toujours pensé que cette sensation avait sa cause dans un phénomène physique extérieur de refroidissement. C'est en effet vers 5 ou 6 heures du matin que les enregistreurs indiquent communément la température la plus basse de la nuit.

Ayant pris le thermomètre fronde pour vérifier la température

Or, beaucoup d'autres causes peuvent produire une impression analogue, une cause mécanique, une friction, une pression, une action électrique, chimique, parfois la simple imagination, donnent le même résultat.— Les réactions se produisent comme s'il y avait eu un véritable réflexe à origine extérieure thermique. — Chez certaines hystériques, il suffit de suggérer la pensée du froid pour les faire frissonner, la pensée d'une chaleur étouffante pour faire perler quelques gouttes de sueur à la surface de leur peau.

Il peut arriver aussi que des impressions de nature non thermique viennent contre-balancer dans les centres des excitations d'origine thermique : un paysage inondé de soleil, une musique entraînante, peuvent suffire pour inhiber en nous les effets du froid (1).

---

de notre compartiment, nous fûmes surpris de trouver 21 degrés. Il n'existait aucun courant d'air ; les portes et fenêtres du compartiment étaient bien closes et les rideaux baissés.

Vers 6 h. 1/2 du matin, cette impression de fraîcheur avait disparu et pourtant la température du compartiment était plus basse qu'à 5 heures du matin; elle était tombée à 19 degrés.

Faut-il admettre l'existence d'une énergie inconnue prémonitoire du refroidissement, énergie incapable d'agir sur le thermomètre, mais mettant en mouvement certaines terminaisons nerveuses ?

S'agit-il simplement d'une sensation d'origine statique, mais causée par un abaissement de la température interne ? Les fluctuations de notre niveau thermique selon les heures de la journée sont un phénomène bien connu.

1. Il y a des causes qui produisent réellement de la chaleur dans notre corps, alors qu'elles ne modifient guère l'état thermique extérieur — par exemple l'énergie rayonnée, ou bien l'énergie élec-

Des nuances dans la sensation de chaleur — Une même température de 20 degrés peut produire en nous, selon les cas, des sensations très diverses. Cela tient à certaines impressions surajoutées analogues aux harmoniques qui, accompagnant le son fondamental, constituent le timbre et permettent de distinguer le même « la » donné par un violon de celui émis par une clarinette.

Le langage usuel exprime ces variétés pour une même température en distinguant par exemple :

Une chaleur brûlante accompagnée de rayonnement et de reverbération, celle qui éveille en nous une céphalée, lorsque nous travaillons près d'un poêle en fonte porté au rouge (1). — une chaleur lourde, bien que non brûlante, due à l'absence d'air, de brise. — Le courant d'air peut produire une sensation *sui generis* indépendamment du refroidissement thermométrique qu'il détermine dans certaines conditions.

trique de haute fréquence qui se transforme en énergie calorique par effet Joule dans la profondeur même de nos tissus.

Citons ensuite le vent, l'humidité à température constante. On a la même impression de chaleur à 15 degrés avec le mistral qu'à 3 degrés en l'absence de vent ; l'air sec à 6 degrés n'est pas plus froid que l'air humide à 12 degrés. — De l'air à 4 degrés donne la même impression que de l'eau à 20 degrés. — Il y a enfin la chaleur intérieure produite par réaction et qui peut masquer l'impression donnée par la température extérieure. V. Monteuuis, Rapport au Congrès de Climatothérapie et d'Hygiène de Cannes, 1907.

1. Un chauffeur d'usine à gaz habitué à vivre près de ses fours portés au rouge, n'en éprouvait pas d'incommodité. — Mais s'il lui arrivait, nous dit-il, de sortir un jour d'été, par une température de 30 degrés à l'ombre, le soleil voilé, — le soir il rentrait accablé par cette chaleur.

Une chaleur humide a ses caractères psychologiques particuliers.

De même un froid noir, morne, attristant, ne ressemble en rien à un froid vif et gai par un beau soleil.

Il est probable que ces différentes nuances sont produites par les réactions accessoires déterminées par les énergies en action, les unes agissant plus spécialement sur la respiration (sensation d'étouffement), — les autres sur la peau (sensation cuisante), etc.

§ 2. — *Impressions thermiques d'origine purement psychologique*

Il ne faudrait pas ranger dans cette classe les impressions qui ont comme première cause un phénomène psychologique (sujets glacés d'épouvante, ou bouillants de colère) parce qu'en réalité, il s'est produit, dans l'intervalle des deux faits psychologiques, un phénomène physiologique.

Mais dans tous les cas où l'on sent réellement ce qu'on s'imagine devoir sentir, les sensations par habitude, par parti pris n'ont peut-être pas de fondement physique.

Si le soleil du Midi nous paraît si bon au mois de janvier, c'est un peu parce que nous songeons qu'à la même époque nous pourrions geler dans le Nord

sous un ciel gris. — Au mois d'août, le soleil de Nice n'a plus rien qui nous étonne.

L'été, il est admis qu'on ne doit pas avoir froid. Nous nous contenterions fort bien de 15 degrés dans notre appartement en juillet, — alors que l'hiver, nous nous hâterions de pousser notre calorifère si le thermomètre de notre cabinet marquait moins de 20 degrés.

A l'automne on sort en simple jaquette par 8 degrés; tandis que, au printemps, beaucoup n'abandonnent pas le pardessus d'hiver malgré des températures de 20 degrés. L'habitude psychologique joue ici un rôle aussi important que l'adaptation physiologique.

On a remarqué (1) que les corps froids ou chauds paraissent plus lourds que les corps thermiquement neutres. Si nous prenons l'habitude d'assimiler des corps lourds à des corps donnant une sensation de chaleur, nous ferons comme certains frileux, qui chargent leur lit d'étoffes pesantes (2). Ils auraient froid avec des édredons légers, quoique beaucoup moins conducteurs de la chaleur.

---

1. Sanford, *Cours de Psychologie expérimentale*. Traduction française, Paris, Schleicher, 1900, p. 19.

2. Il y a peut-être une raison physiologique à l'acte instinctif de ces frileux. Ils ont une vaso-dilatation périphérique qui accroît beaucoup leur perte de calories. Peut-être la pression créée par les corps pesants agit-elle surtout en surface et chasse-t-elle le sang vers la profondeur.

§ 3. — *Dysesthésies thermiques*

Il semble bien établi (1) qu'il existe à la surface de notre peau des points sensibles au froid et d'autres à la chaleur. Si l'on excite par le moyen d'une énergie quelconque une terminaison nerveuse du froid, il semble qu'on doive toujours avoir une sensation de froid,— de même que si nous excitons un œil mécaniquement, électriquement, thermiquement, nous produisons toujours une sensation lumineuse.

La sensation éprouvée peut être excessive, si l'excitabilité de la terminaison nerveuse thermique est trop grande.— Frottons une région de la peau avec un crayon de menthol, nous aurons une sensation de froid. Pourtant le thermomètre prouve que la partie frottée n'est pas plus froide que le voisinage. Il n'y a pas de refroidissement réel de la peau. Il y a simplement hyperesthésie des nerfs du froid (2).

A côté de ce cas presque normal, il en est d'autres que Alrutz étudie sous le nom de « sensations perverses de température » (3).

---

1. Von Frey, *Vorlesungen über Physiologie*. Berlin, Springer, édition 1911, p. 296. — Sanford, *Cours de Psychologie*, traduction. Paris, Schleicher, 1900, p. 8

2. Sanford, *Cours de Psychologie expérimentale*. Traduction. Paris, 1900, p. 10. Expérience de Goldscheider.

3. *Scandinavisches Archiv für Physiologie*, Leipzig, 1906, p. 166. — *Ueber die sogenannten perversen Temperaturempfindungen*, par Sydney Alrutz (Docent de Psychologie à Upsal).

Des objets très chauds, appliqués sur des points de froid, produisent des sensations de froid. On arrive à ce résultat si l'on cherche des places de la peau qui manquent de points de chaleur, ou si l'on affaiblit par certains artifices le sens de la chaleur.

Le sens de la chaleur peut être paralysé alors que celui du froid est excité. Ces phénomènes peuvent être observés même chez des hommes normaux.

Chez les malades, ils peuvent être plus marqués.

« Strümpel est le premier qui ait observé (la forme suivante) de sensation perverse de la température.

» Son apparition fut observée sur un patient atteint d'une paralysie apoplectique bulbaire. Le cas est décrit de la façon suivante.

» Le patient, auquel on avait prescrit de la glace sur la tête, assura que la glace lui semblait tout à fait chaude sur la partie gauche de la tête et du front, de sorte qu'il lui semblait que la vessie de glace était composée d'une moitié froide du côté droit et d'une moitié chaude du côté gauche.

» Sur la peau du visage des excitations de froid du côté gauche produisaient constamment une sensation de chaleur.

» Quand le patient se lavait la figure avec de l'eau froide ordinaire, il la sentait froide sur le côté droit et chaude sur le côté gauche.

» De même sur toute la partie gauche du corps, on ne pouvait obtenir aucune sensation de froid (1). »

---

1. Alrutz, *loco citato*

Airutz cite encore un cas de syringomyélie dans lequel des différences de température de 20 à 30 degrés sont à peine distinguées sur le ventre du côté gauche. Du côté droit la glace était indiquée comme chaude.

Nous avons connu des vieillards atteints de maladie de Parkinson, chez lesquels par exemple coexistaient des sensations de froid à la poitrine, en même temps que des sensations de chaleur très pénibles à la tête.

Maillard cite dans sa thèse plusieurs observations de ce genre (1).

1. Thèse de Paris, 1907. *Maladie de Parkinson*, p. 121, la main droite du malade est cyanosée et presque constamment couverte de sueur ; p. 127, sensation de froid chez le sujet ; p. 138, sensation de chaleur insupportable.

CONCLUSIONS

L'analyse que nous venons de terminer ne peut que nous confirmer dans cette opinion : l'étude de la chaleur, au point de vue statique, est insuffisante lorsqu'on veut se rendre compte de l'influence de l'énergie calorique sur notre organisme, au point de vue physiologique et au point de vue psychologique. Le côté cinétique de la question mérite un examen.

Il y aurait le plus grand intérêt à poursuivre des recherches sur les variations du courant de chaleur et sur les effets locaux de ces variations.

La durée de temps employée pour effectuer ces variations de débit du courant de chaleur, a une importance très grande. Si la variation est brusque, elle a les résultats d'un choc, produit des déformations localisées plus ou moins permanentes, donne naissance à des réflexes graves et à une sensation vive.

Dans l'étude des modifications du monde extérieur réagissant sur notre organisme, il faudrait, croyons-nous, se laisser guider par cette règle : pour que nos instruments aient quelque chance de présenter des variations analogues à celles que subit notre corps,

au point de vue calorique, il serait nécessaire qu'ils fussent, eux aussi, homéothermes, c'est-à-dire que nos thermomètres fussent chauffés à température constante.

De même, pour l'étude des variations rapides du courant de chaleur au point où il quitte notre corps, il faudrait des thermomètres refroidis par des courants d'eau, et placés les uns à la surface de la peau, les autres dans le rectum.

De telles recherches exigeraient la création d'instruments délicats et difficiles à mettre au point et ne pourraient être que fort longues.

Mais elles auraient un grand intérêt au point de vue médical, car, ainsi que nous le disions en débutant, le thermomètre usuel, poïkilotherme, ne nous apprend qu'une partie de ce que le médecin doit connaître sur les influences thermiques auxquelles nous sommes soumis.

Le Président de la thèse,
GILBERT BALLET

Vu : le Doyen,
LANDOUZY

Vu et permis d'imprimer
Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,
F. LIARD

BIBLIOGRAPHIE

Actinométrie. — Voir Vallot, Berthelot.

Alrutz (Sydney), docent de psychologie à Upsal. — Sur les sensations dites « perverses » de température (Skandinavisches Archiv. für Physiologie. Leipzig, 1906, p. 166.)

— Recherches sur le sentiment de la température. (Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgan, 1908. Première partie, p. 162. Leipzig).

Angot. — Abrégé des instructions météorologiques. Paris, Gauthier Villars, 1902.

Annuaire de la Société météorologique de France, juillet 1909, p. 163.

Archives de Physiologie normale et Pathologique (de Brown-Séquard), notamment année 1898 pour les expériences de Lefèvre, — de Bordier.

Baud (Henri). — La Diathermie. Thèse de Paris, Jouve, 1911.

Ballet (Gilbert). — Traité de Pathologie mentale, p. 38 et 129. Paris, Doin, 1903.

Berthelot (Daniel). — De la nature des radiations solaires au niveau de la mer et des moyens de les mesurer (Voir Congrès de Thalassothérapie de Cannes, avril 1914).

Biologie (Société de), année 1900 ; année 1905, p. 412, 591, 833 (Maurel).

Bouasse. — Cours de mécanique physique, 2e édition. Paris. Delagrave, 1913.

Bouasse. — Introduction à l'étude des théories de la mécanique. Paris, Carré, 1895.

Boulvin. — Cours de mécanique appliquée aux machines, 3e fascicule, 2e édition, p. 51. Paris, E. Bernard, 1905.

— Le Diagramme entropique et ses applications (Revue de mécanique, 1907. Paris, Dunod).

— Revue de mécanique, année 1901, nos 3 et 5.

Bouty. — Cours de physique à la Sorbonne (thermodynamique).

Broca (André). — Congrès de physique. Paris, 1900, t. III, p. 495 (Rapport sur les transformations d'énergie dans l'organisme).

Brunhes. — La Dégradation de l'énergie. Paris, Flammarion, 1909.

Carnot (Dr Paul). — Opothérapie, p. 363 (Sensation de froid). Paris, Baillière, 1911.

Carnot (Sadi). — Réflexion sur la puissance motrice du feu. Réimpression. Paris, Hermann, 1903.

Chantemesse. — Voir Hygiène (Traité d').

Charrin. — Cours au Collège de France.

Chiaïs (de Menton). — La Cure solaire directe (Rapport au Congrès de Climatothérapie de Nice, 1907).

Chwolson. — Traité de Physique. Traduction, t. II, 1er fascicule. Énergie rayonnée. Paris, Hermann.

Claude-Bernard. — Leçons sur la chaleur animale. Paris, Baillière, 1876.

Clausius. — Théorie mécanique de la chaleur. Traduction Folie. Paris, Hetzel, 1er vol., p. 150.

Cournot. — Essai sur les fondements de nos connaissances. Paris, Hachette, 1851.

Congrès de Climatothérapie de Nice, etc., 1907.

Congrès international de Physiothéraphie de Paris, 1910. Masson.

Congrès de Thalassothérapie de Cannes, etc., 1914. Rapports. Paris (Gazette des eaux). Voir d'Œlsnitz, Berthelot, Vallot).

Dastre. — La Vie et la mort. Paris, Flammarion.

— Cours de Physiologie à la Sorbonne.

Daubas (Georges). — Contribution à l'étude de quelques applications de la chaleur. Thèse de Paris, 1911.

Dausset. — La Chaleur et le froid en thérapeutique. Paris, Baillière, 1913.

Debesson. — Le Chauffage des habitations. Paris, Dunod, 1908.

Duchesne (Armand). — Recherches sur les propriétés de la vapeur surchauffée. Thèse doctorat ès sciences. Paris, Dunod, 1911.

— Les Phénomènes thermiques dans les machines à vapeur (Revue de mécanique, juillet 1906. Paris, Dunod).

Duclaux. — Cours de physique et de météorologie. Paris, Hermann, 1891.

Duhem. — Thermodynamique et chimie (leçons élémentaires). Paris, Hermann, 1910.

— La Théorie physique. Paris, Chevallier, 1906.

— L'Évolution de la mécanique. Paris, Hermann, 1905.

Eiffel. — Étude comparée des stations météorologiques de Beaulieu, Sèvres, Vacquey. Paris, Maretheux, 1904.

Entropie. — Voir Clausius, Gibbs, Matisse, Boulvin.

Frey (M. von), professeur de Physiologie à Wurzburg. — Vorlesungen über Physiologie. Berlin, Springer, 1911.

Freycinet (De). — Philosophie des Sciences. Paris, Gauthier Villars, 1896.

Gavarret (J.). — De la chaleur produite par les êtres vivants. Paris, Masson, 1855.

Gibbs. — Diagrammes et surfaces thermodynamiques (collection Scientia). Paris, Naud, 1903.

Girard (Maurice). — L'Aérothermothérapie en gynécologie. Thèse de Paris, 1913.

Guimbail. — La Thérapeutique par les agents physiques. Paris, Baillière, 1900.

Guillaume. — Initiation à la mécanique. Paris, Hachette, 1909.

Guillet. — Propriétés cinématiques des vibrations. Paris, Gauthier-Villars, 1913.

Hauser. — Syringomyélie. Paris, Roux, 1901.

Héliothérapie. — Voir d'Œlsnitz. Journal médical français. Paris, Poinat, 25 novembre 1913.

Héliothermomètre. — Voir Nice (Société de médecine et de climatologie).

Hostelet. — Les Principes généraux et les relations fondamentales de l'énergétique (Revue générale des Sciences, 30 juin 1907). Paris, Colin.

Hydrothérapie. — Pariset, dans volume « Physiothérapie » collection Gilbert et Carnot. Paris, Baillière, 1909.

— Bénibarde, Méthode hydrothérapique. Paris, Masson, 1905.

Hygiène (Traité d'). — Chantemesse, Brouardel et Mosny, 1er fascicule, Climats.

Impulsion. — (Voir Bouasse, Cours de mécanique rationnelle, p. 447, et Bouasse : Introduction à l'étude des théories de la Mécanique, p. 203 (balance).

Janet (Pierre). — Cours au Collège de France.

Journal de physiologie et de pathologie générale (année 1900, étude de Lefèvre).

Kœnigs. — Cours de mécanique à la Sorbonne.

Lami. — Dictionnaire de l'industrie.

Lefèvre (Jules). — Chaleur animale. Paris, Masson, 1911.

Lévi (Léopold) et *Rothschild* (H. de). — Étude sur la physiopathologie du corps thyroïde et de l'hypophyse. Paris, Doin, 1908, p. 48 et suiv.

Lorain. — Température du corps humain. Imprimerie Nationale, 1877.

Mach. — La Mécanique, traduction Bertrand. Paris, Hermann, 1904.

Maillard. — Maladie de Parkinson. Thèse de médecine. Paris, 1907.

Matisse (Georges). — Le Principe de la conservation de

l'assise et ses applications. [Paris, Hermann, 1907.

Monteuuis. — Rapport au Congrès de Climatothérapie de Nice, 1907.

— Les Bains de soleil.

— Abdominales méconnues. Paris, Baillière, 1903.

Morat. — Voir Physiologie.

Morel (Louis). — Les Parathyroïdes. Paris, Hermann, 1912, p. 83-92 et surtout 96.

Murat (Louis et Paul). — Les Voyages de santé sur mer. Paris, Jouve, 1906.

Nice (Société de Médecine et de Climatologie de), avril 1914. Héliothermomètre de M. Vallot.

Nogier. — La Lumière et la vie. Thèse de médecine, Lyon, 1904.

Ostwald. — L'Énergie, traduction. Paris, Alcan, 1910.

— L'Évolution d'une science, la Chimie, traduction. Paris, Flammarion, 1909.

Œlsnitz (d'). — Voir Héliothérapie « Posologie de l'héliothérapie marine ». Rapport au Congrès de Thalassothérapie de Cannes, avril 1914.

— Journal médical français. Paris, Poinat, 25 novembre 1913, p. 451 et 466.

Pellat. — Thermodynamique. Paris, Carré, 1897.

Perrin (Jean). — Les Atomes. Paris, Alcan, 1913.

— Les Principes (Chimie-Physique). Paris, Gauthier Villars, 1903.

Photothérapie (par Chatin et Carle). Collection Léauté. Paris, Gautier Villars, 1903.

Photothérapie (par Leredde et Pautrier). Paris, Naud, 1903.

Physique biologique (Traité de) par d'Arsonval, Chauveau, Gariel, Marey, Weiss. Paris, Masson.

Piéron. — Voir Toulouse.

Poincaré (H.). — Valeur de la Science. Paris, Flammarion, 1909.

Physiologie (Traité de) Morat et Doyon. Paris, Masson.

Redard. — Traité de Thermométrie médicale. Paris, Baillière, 1885.

Rey (Abel). — La Théorie de la Physique. Paris, Alcan, 1907.

— L'Énergitique et le mécanisme au point de vue des conditions de la connaissance. Paris, Alcan, 1908.

Richet (Professeur Ch.). — La chaleur animale. Paris, Alcan, 1889.

— Dictionnaire de Physiologie, mot « Chaleur ». Paris, Alcan, 1898.

Rikli. — Médecine naturelle et bains de soleil, traduction. Lausanne, Bridel, 1905.

Robin (Professeur Albert) et *Bith* (Dr H.). — Biologie de l'héliothérapie (Rapport au Congrès de Thalassothérapie de Cannes, avril 1914. Paris, Gazette des eaux).

Sanford. — Cours de psychologie expérimentale, traduction. Paris, Schleicher, 1900.

Sardou (Dr Gaston), de Nice. — Météorologie et médecine (la Clinique), 8 mai 1914.

Sécrétions internes et température, voir Carnot (Dr Paul), — Léopold Lévy, — Morel.

Soury (Jules). — Système nerveux central. Paris, Carré et Naud, 1899, p. 1261 (sens de la température).

Teisserenc de Bort. — Travaux de la station franco-scandinave de sondages aériens à Hald, 1902-1903, publiés à Viborg (Danmark, Backhausens Boglrykkéré, 1904).

Toulouse, *Vaschide* et *Piéron*. — Technique de psychologie expérimentale. Paris, Doin, 1904, p. 66 à 71.

Toulouse et *Piéron*. — Le cycle nycthéméral de la température dans les cas d'activité nocturne et de sommeil diurne (Société de Biologie, 24 novembre 1906).

Tyndall (John). — La Chaleur mode de mouvement. Traduction par l'abbé Moigno. Paris, Gauthier Villars, 1874.

Vallot (J.). — De l'actinométrie dans ses rapports avec l'héliothérapie et la climatologie marine. (Rapport

au congrès de thalassothérapie de Cannes, 1914 (Paris, Gazette des eaux).

Weiss. — Précis de Physique biologique. Paris .Masson.

— Physiologie générale du travail musculaire et de la chaleur animale. Paris, 1909.

Zimmern. — Éléments d'Électrothérapie clinique. Paris, 1906.

Zimmern et *Turchini.* — Les Courants de haute fréquence et la d'Arsonvalisation (Actualités médicales).Paris, Baillière, 1910.

Consulter également la bibliographie : Dictionnaire de Physiologie de Richet, mot « Chaleur »,pages 194 et 259 — et l'Index medicus (Carnegie Institution of Washington) aux mots « Heat » et « Thermothérapie »). Volumes annuels.

TABLE DES FIGURES

Pages

Fig. 1. — Représentation graphique des deux facteurs d'une énergie 19
Fig. 2. — Représentation graphique des effets de l'intensivité sous forme de cubes empilés verticalement 20
Fig. 3. — Représentation graphique d'une même quantité d'énergie en hauteur ou bien disposée horizontalement (dégradation) 22
Fig. 4. — La même que figure 3 24
Fig. 5. — Représentation graphique de l'influence de la perte d'une même quantité d'énergie : — A. lorsque le réservoir est en hauteur — B. lorsqu'il présente une large surface horizontale 27
Fig. 6. — Représentation graphique des fuites d'énergie qui donnent l'illusion d'une capacité variable pour un même corps (entropie) 34
Fig. 7. — Diagramme. Entropie. Température 37
Fig. 8. — Vases communicants. Représentation du rôle de la différence de potentiel 59
Fig. 9, 10 et 11. — Courbes différentes obtenues selon qu'une des variables varie avant l'autre. Quantité d'énergie variable obtenue selon l'ordre des variations (aires) 68
Fig. 12. — Vitesse de propagation du niveau de température dans une barre 86

Fig. 13. — Balance. Mesure de l'effort produit par un corps qui tombe — lien élastique 90
Fig. 14. — Représentation pour l'étude de la propagation des vibrations transversales 105
Fig. 15. — Représentation des vibrations longitudinales 106
Fig. 16. — Représentation d'une période vibratoire et de la longueur d'onde 118
Fig. 17. — Rétrécissement du canal conducteur de l'énergie. Changement de chute de potentiel par mètre 122
Fig. 18. — Pour l'étude d'un débit variable à travers les sections d'un canal 122
Fig. 19. — La même que figure 17 127
Fig. 20. — Système de lentilles pour faire varier la section d'un courant d'énergie rayonnée et l'intensivité par unité de surface 128
Fig. 21. — Proportion entre les chutes de potentiel et la résistance relative à chaque tronçon d'un conducteur 138
Fig. 22. — Cercles représentatifs d'une même heure sur les graphiques 213
Fig. 23. — Graphique thermomètre enregistreur (vitesse du papier 4 cm. 1/2 à l'heure). Influence combinée du soleil et du vent, Mondoubleau, 6 octobre 1911 215
Fig. 24. — Schéma pour montrer l'intérêt d'un déroulement rapide du papier (instant précis de chaque phase d'une variation) 213
Fig. 25. — Photographie du baro-thermo-hygromètre enregistreur (vitesse de déroulement du papier 8 centimètres à l'heure) 214
Fig. 26. — Cercles représentatifs d'une même heure sur les graphiques donnés par le précédent appareil 216
Fig. 27. — Schéma du montage d'une pile thermo-électrique 219

Fig. 28. — Schéma du montage de la résistance homéotherme sur un pont de Wheatstone..... 227
Fig 29. — Croquis du précédent appareil avec la lampe à arc, le galvanomètre, le cylindre photographique et la résistance placée à l'extérieur (Voir aussi fig. 41-42 et 43)..... 229
Fig. 30. — Graphique du thermomètre (vitesse 4 cm. 1/2 à l'heure) dans une cour à Paris (volant thermique affaiblissant les variations pendant l'éclipse de soleil du 17 avril 1912)..... 243
Fig 31. — Graphique grand enregistreur (baro-thermo-hygromètre) déplacé du grenier à la cave à Mondoubleau le 19 septembre 1913 (variations d'une chambre à l'autre). Vitesse de déroulement 8 centimètres à l'heure..... 246
Fig. 32. — Graphique du thermomètre enregistreur (vitesse 4 cm. 1/2 à l'heure) déplacé d'un point à l'autre d'une chambre chauffée à Paris, rue de la Clef, 27 novembre 1911..... 249
Fig. 33. — Graphique (baro-thermo-hygromètre, vitesse 8 centimètres à l'heure). Influence combinée du soleil et du vent sur la pelouse à Mondoubleau, 6 octobre 1912..... 250
Fig. 34. — Graphique analogue au précédent — pelouse, Mondoubleau, 10 octobre 1912 (réservoir couvert de diverses étoffes)..... 250
Fig. 35. — Graphique d'un orage (baro-thermo-hygromètre, vitesse, 8 centimètres à l'heure), Mondoubleau, 29 août 1913..... 252
Cinq graphiques du 18 août 1913 au 25 août : Mondoubleau :
Fig. 36. — Thermomètre mansarde ouest... 253
Fig. 37. — Hygromètre mansarde ouest..... 253
Fig. 38. — Hygromètre mansarde est..... 254
Fig. 39. — Thermomètre mansarde est..... 255
Fig. 40. — Baromètre mansarde est..... 255
Variation de la température d'une même pièce selon les heures de la journée.

Fig. 41. — Courbe du déplacement du spot dans l'appareil représenté par la figure 29 (ici la lampe à arc est remplacée par une lampe électrique à incandescence) 260
Paris, rue de la Clef, 29 janvier 1914. Vitesse : 40 centimètres en six minutes.

Fig. 42. — Courbe analogue mais avec la lampe à arc (vitesse : 40 centimètres de papier en six *minutes*). Paris, cour, rue de la Clef, 27 mars 1914 (figure la plus large) 260

Fig. 43. — Sur la même planche imprimée (figure étroite). Courbe analogue (mais 40 centimètres de papier en 6 *secondes*) même jour 260

Fig. 44. — Photographie de l'oscillateur à lame d'étain pour le pointage des coups de vent — du récepteur Morse — de l'anémomètre à compte-secondes 299

Fig. 45 et 46. — Bandes du récepteur Morse indiquant les coups de vent 300

Fig. 47. — Allure générale des graphiques de l'hygromètre à la vitesse de 29 centimètres par semaine du 20 mai 1912 au 27 mai 319

Fig. 49. — Hygromètre (courbe hebdomadaire) du 15 septembre 1913 au 22 septembre, Mondoubleau, ascension précoce de l'humidité à 6 heures du soir. 321

Fig. 48. — Tracé correspondant du thermomètre .. 321

Cinq graphiques du 13 octobre 1913 au 20 octobre :

Fig. 50. — Hygromètre courbe hebdomadaire grenier nord à Mondoubleau. Ascension de la courbe sous l'influence du soleil 327

Fig. 51. — Hygromètre au jardin 327

Fig. 52. — Thermomètre au jardin 328

Fig. 53. — Thermomètre grenier nord 329

Fig. 54. — Baromètre grenier nord 329

Cinq graphiques du 21 juillet 1913 au 28 juillet :

Fig. 55. — Hygromètre courbe hebdomadaire à l'intérieur, Paris, rue de la Clef 330

Fig. 56. — Hygromètre dans la Cour..... 330
Fig. 57. — Thermomètre à l'Intérieur..... 331
Fig. 58. — Thermomètre dans la cour..... 332
Fig. 59. — Baromètre dans la cour..... 332
Cinq graphiques du 20 octobre 1913 au 27 octobre :
Fig. 60. — Hygromètre (courbe hebdomadaire) dans salle à manger nord, Paris, rue de la Clef (non chauffée). Anomalies — dessèchement la nuit..... 337
Fig. 61. — Hygromètre dans la cour..... 337
Fig. 62. — Thermomètre dehors..... 338
Fig. 63. — Thermomètre dans salle à manger. 339
Fig. 64. — Baromètre dans salle à manger.. 339

TABLE ANALYTIQUE

Pages

INTRODUCTION 7

PREMIÈRE PARTIE

DE LA NOTION D'ÉNERGIE ET DE COURANT D'ÉNERGIE

CHAPITRE PREMIER. — Représentations diverses de l'énergie calorique 13
CHAPITRE II. — Comparaison de l'énergie en général (et de l'énergie calorique en particulier) avec un volume d'eau immobile 18
Première section. — Image des deux facteurs de l'énergie 18
§ 1. — Influence de la variation du facteur *intensivité* (le facteur *extensité* restant invariable) ... 19
§ 2. — Influence de la variation du facteur *extensité* (le facteur *intensivité* restant invariable) 20
Section II. — Notion de transformation interne 21
Section III. — Des véhicules de l'énergie calorique. 25
Section IV. — Chaleur spécifique 25
Section V. — Quantité de chaleur. Calories 28
Section VI. — Quantité totale de chaleur contenue dans un corps (notion du zéro absolu) 30
CHAPITRE III. — Première notion d'une transformation

externe d'énergie. — Rôle de l'extensité dans cette transformation 32
Première section. — Définition 32
Section II. — De l'extensité fictive (mutobase) 33
Section III. — Mode de transformation de l'énergie calorique en énergie mécanique (mutobase et entropie) 36
1° Transformation isovolume 36
2° Transformation isotherme 36
3° Transformation isobare 36
4° Transformation adiabatique 36
Section IV. — Transformation externe par changement d'état 40
CHAPITRE IV. — Généralisation de la notion de transformation d'énergie 42
CHAPITRE V. — Compléments à la représentation de l'énergie 45
Première section. — De l'énergie pure et de l'énergie matérialisée 45
Section II. — Des véhicules des énergies spéciales et de la variation de la masse 49
Section III. — Efficacité et concentration de l'énergie. 50
Section IV. — Résumé. — Facteurs de l'énergie matérialisée 51
CHAPITRE VI. — De l'équivalence dans la transformation externe d'énergie 53
CHAPITRE VII. — Des deux principes de la thermodynamique. — Conservation de l'énergie. — Dégradation de l'énergie 55
Première section. — Conservation de l'énergie 55
Section II. — Principe de la dégradation de l'énergie. 57
Section III. — L'énergie interne et la conservation de l'énergie 61
CHAPITRE VIII. — Rôle de l'espace dans la répartition de l'énergie 63
CHAPITRE IX. — Rôle du temps dans les transformations d'énergie 65

Première section. — Temps-Époque..... 66
§ 1. — Intensivité de l'énergie produite. — Influence de l'époque des maxima respectifs de deux phénomènes..... 66
§ 2. — Influence du temps. — Époque..... 67
Section II. — Temps-Durée..... 69
§ 1. — Puissance. — Débit..... 69
§ 2. — Relation entre le débit de charge et le débit de décharge d'un corps..... 69
§ 3. — Vitesse d'une particule matérielle..... 70
§ 4. — Du rythme. — De la période..... 71
Chapitre X. — Du changement et du courant..... 72
§ 1..... 72
§ 2..... 73
§ 3..... 73
Chapitre XI. — Du flux et du courant..... 75
Chapitre XII. — Forme cinétique de l'énergie..... 77
Première section. — Effet produit par une énergie selon qu'elle est immobile ou bien en mouvement..... 77
Section II. — Possibilité du mouvement malgré l'égalité de l'action et de la réaction..... 78
Section III. — Conditions de naissance du courant d'énergie. — Différence de potentiel et liaisons faisant obstacle au démarrage..... 81
Section IV. — Facteurs de l'énergie cinétique..... 83
Section V. — Forme cinétique de l'énergie calorique. 84
§ 1. — Facteurs de l'énergie calorique. — (Ce qu'on doit entendre par l'expression « vitesse de courant calorique »)..... 84
§ 2. — Effets différents de la chaleur dynamique et de la chaleur statique..... 87
Chapitre XIII. — De l'efficacité de l'énergie et de ses conditions. — Effets locaux. — Effets généraux. 89
Première section. — Rôle de la résistance..... 89
Section II. — Influence de la forme d'énergie cinétique du corps assaillant..... 92

Section III. — Application à l'énergie calorique des remarques précédentes..... 95
CHAPITRE XIV. — Des différents modes de transport de l'énergie..... 98
Première section..... 98
Section II. — Facteurs de l'énergie dans les deux cas (convection et courant vibratoire)..... 101
§ 1. — Courant de convection..... 101
§ 2. — Courant vibratoire..... 103
Section III. — Comparaison des deux modes de transport au point de vue du débit. — Débit de matière. — Débit d'énergie..... 107
§ 1. — Courant de convection..... 107
§ 2. — Courant vibratoire..... 108
Section IV. — Quantité d'énergie transportée..... 109
§ 1. — Courant de convection et courant vibratoire. 109
§ 2. — Conditions à remplir pour un transport à longue distance..... 109
Section V. — Utilisation de l'énergie transportée. — Condition d'efficacité résultant du mode de transport..... 110
§ 1. — Courants de convection..... 110
§ 2. — Courants vibratoires..... 113
Article premier. — Résonance et sommation... 113
Article 2. — Phase et Période..... 115
Article 3. — Absorption de l'énergie vibratoire rayonnée..... 116
Article 4. — Longueur d'onde..... 117
Article 5. — Influence de la nature des surfaces sur l'absorption..... 119
CHAPITRE XV. — Courant de régime et courant varié.. 120
Première section. — Définition..... 120
§ 1..... 120
§ 2. — État varié accompagnant l'établissement d'un courant..... 122
§ 3. — Formes possibles du courant varié (au point de vue du temps)..... 125

§ 4. — Causes des variations..... 125
Section II. — Efficacité du courant selon qu'il est de régime ou bien varié..... 126
§ 1. — Courant de régime..... 126
§ 2. — Efficacité locale d'un courant de régime.... 127
§ 3. — Efficacité du courant varié..... 129
§ 4. — Volant thermique..... 130
CHAPITRE XVI. — Superposition de deux mouvements oscillatoires..... 131

DEUXIÈME PARTIE

REMARQUES SUR LE COURANT PHYSIOLOGIQUE DE CHALEUR

Début..... 133
CHAPITRE PREMIER. — Cas simplifié où le courant physiologique de chaleur est assimilable à un simple courant physique..... 135
Première section. — Transport de la chaleur jusqu'à la face interne de la peau..... 136
§ 1. — Transport par conductibilité à travers les tissus du corps..... 136
§ 2. — Transport de la chaleur par convection depuis les organes profonds jusqu'à la face interne de la peau..... 140
Section II. — Passage de la chaleur à travers la peau. 142
Section III. — Émission finale de la chaleur dans le milieu extérieur..... 144
§ 1. — Conductibilité..... 145
§ 2. — Conduction..... 146
§ 3. — Rayonnement..... 146
§ 4. — Évaporation..... 148
CHAPITRE II. — Complications qui distinguent le courant physiologique d'un simple courant de chaleur. 149
Première section. — Transport de la chaleur des

couches profondes de l'organisme jusqu'à la face interne de la peau 150
§ 1. — Transport par conductibilité 150
§ 2. — Transport par convection 150
Section II. — Passage de la chaleur à travers la peau. 152
Section III — Régulation de l'émission finale de la chaleur dans le monde extérieur 154
§§ 1 et 2. — Conductibilité et convection 154
§ 3. — Régulation du rayonnement 155
Article premier. — Variation dans la différence de température et dans l'état de la surface d'émission 155
Article 2. — Variation de la grandeur de la surface d'émission 156
§ 4. — Évaporation 157
Article premier. — Sudation à la surface de la peau. 157
Article 2. — Évaporation à la surface du poumon. 158
Chapitre III. — Du courant de chaleur comme moyen d'assurer la conservation des effets catalytiques de l'énergie calorique dans l'organisme (De la régulation) 160
Première section. — Action catalytique de la chaleur dans l'organisme 160
Section II. — Nécessité d'un courant de chaleur pour maintenir constant le niveau de la température. 164
Section III. — Schéma de la régulation thermique.. 165
§ 1. — Déperdition normale 166
§ 2. — Déperdition supplémentaire 166
Chapitre IV. — Du courant de chaleur en tant qu'il produit des effets cinétiques ou de choc dans l'organisme 169
Première section. — Cas d'un refroidissement atteignant les couches profondes de l'organisme... 173
§ 1. — Effets cinétiques d'un tel courant 173
§ 2. — Effets d'un refroidissement rapide. — Effets d'un refroidissement lent 176
§ 3. — Mécanisme de production d'un courant de

sortie capable d'abaisser la température des couches profondes de l'organisme..... 186
Section II. — Cas d'un refroidissement limité aux couches superficielles du corps..... 191
§ 1. — Possibilité d'effets graves résultant d'un refroidissement superficiel..... 191
§ 2. — Mode d'action de l'énergie calorique dans ces phénomènes réflexes (brusquerie, localisation)..... 195
CHAPITRE V. — Causes intérieures particulières de variations du courant de chaleur..... 201
CHAPITRE VI. — Résumé. — Accélération et dislocation. — Effets locaux (troubles de régulation par défaut de temps dans les changements)... 203

TROISIÈME PARTIE

DES VARIATIONS MÉTÉOROLOGIQUES INFLUENÇANT LES VARIATIONS DU COURANT DE CHALEUR

CHAPITRE PREMIER. — Instruments..... 210
CHAPITRE II.— Remarques sur les variations de température dans le monde extérieur..... 237
Première section. — Précautions à prendre pour ces mesures..... 238
Section II. —Des gaines de chaleur et de froid..... 241
Section III. — Variation de la température ambiante par suite du déplacement du sujet..... 242
§ 1.— Variation au cours d'une promenade..... 242
§ 2. — Variation en passant d'une pièce dans une autre..... 245
§ 3. — Variations de température subies lorsqu'on se déplace sans sortir d'une même chambre... 248
Section IV. — Variations de température subies sans déplacement du sujet..... 251

§ 1. — Variations sous l'influence combinée du soleil et du vent 251
§ 2. — Graphique d'un orage 252
§ 3. — Variation de la température d'une même pièce selon les heures. — Comparaison entre des pièces diversement exposées 256
§ 4. — Comparaison entre les graphiques pris au dehors et ceux pris à l'intérieur d'une habitation pendant la même semaine 259
Section V. — Étude des variations de température au moyen d'appareils homéothermes maintenus à température plus chaude (ou plus froide) que celle du monde extérieur (étude des variations brusques du pouvoir refroidissant de l'air) 260
Chapitre III. — Remarques sur l'influence des variations de l'énergie rayonnée (actinisme) 264
Première section. — Distinction entre l'énergie rayonnée et l'énergie calorique (lois de transformation de l'une en l'autre) 264
§ 1. — Différentes espèces de rayons 264
§ 2. — Lois de transformation 268
§ 3. — Chaleur obscure et chaleur lumineuse ... 271
§ 4. — Facteurs de l'énergie rayonnée (longueur d'onde) 273
Section II. — Influence de l'énergie rayonnée sur le courant de chaleur de notre organisme, sur les fonctions du corps en général et sur nos sensations de température 275
§ 1. — Influence sur le courant de chaleur 275
§ 2. — Influence sur les fonctions de l'organisme des végétaux et des animaux 275
§ 3. — Remarques sur l'énergie rayonnée au point de vue thérapeutique 280
Section III. — De l'actinisme en tant que nuance du courant de chaleur 286
Section IV. — Mesure de l'énergie rayonnée et de ses variations 289

CHAPITRE IV. — Remarques sur l'influence du vent et des courants d'air 296
Première section. — Caractères et localisations des courants d'air 296
§ 1. — Intermittence 296
§ 2. — Vitesse et force du vent 302
§ 3. — Quelques types usuels de courant d'air .. 305
Section II. — Mode d'action du vent 308
§ 1. — Action refroidissante (ou échauffante) ... 308
§ 2. — Action mécanique du vent 309
§ 3. — Vent et humidité 311
Section III. — Quelques remarques sur le rôle du vent au point de vue pathologique et thérapeutique 312
CHAPITRE V. — Remarques sur l'influence de l'humidité sur le courant de chaleur et sur la sensation de chaleur 315
Première section. — Définition physique de l'humidité. — Influence de l'humidité sur la circulation de la chaleur 315
Section II. — Quelques observations météorologiques 320
§ 1. — Allure générale des graphiques 320
§ 2. — Relation entre l'humidité, le soleil et le vent. 323
§ 3. — Pluie et humidité 325
§ 4. — Comparaison entre l'humidité à l'intérieur des habitations et l'humidité à l'extérieur au même moment 333
Section III. — Définition médicale de l'humidité 340
Section IV. — Sens de l'humidité 345

QUATRIÈME PARTIE

REMARQUES SUR NOS SENSATIONS RELATIVES A L'ÉNERGIE CALORIQUE

CHAPITRE PREMIER. — Importance de la connaissance des sensations thermiques du malade 347

Chapitre II. — Rôle de protection de la sensation..... 351
Chapitre III. — Sensation de température. — Sensation de débit de calories..... 355
Première section. — Température et débit de calories. 355
Section II. — Température extérieure. — Température de la peau. — Température des terminaisons nerveuses (sensation)..... 358
Section III. — Chaleur locale. — Chaleur générale (sensation)..... 359
Chapitre IV. — Sensation des variations thermiques. 361
Première section. — Sensation de variation simultanée dans l'espace..... 361
Section II. — Sensation de variation successive dans le temps..... 363
Section III. — Du zéro physiologique..... 365
Chapitre V. — Illusions du sens de la température... 370
§ 1. — Des causes autres que la chaleur qui peuvent nous donner des impressions thermiques..... 370
§ 2. — Impressions thermiques d'origine purement psychologiques..... 373
§ 3. — Dysesthésies thermiques..... 375
Conclusions..... 379
Bibliographie..... 381
Table des figures..... 389

Imp. de la Faculté de Méd., Jouve et Cie, 15, rue Racine, Paris — 2789-14